# TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE DE LA MÉTALLURGIE DU FER À L'USAGE DES SAVANTS, DES INGÉNIEURS, DES...

Digitized by Google

oogle

# TRAITÉ

THÉORIQUE ET PRATIQUE

DE

# LA MÉTALLURGIE DU FER.

Digitized by Google

*Tous les exemplaires sont revêtus des griffes de l'auteur et de l'éditeur.*

Toute contrefaçon, toute traduction, ainsi que la reproduction des planches, seront poursuivies conformément aux traités internationaux.

---

## OUVRAGE DU MÊME AUTEUR.

TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE DE LA CONSTRUCTION DES MACHINES A VAPEUR FIXES, LOCOMOTIVES ET MARINES, à l'usage des ingénieurs, mécaniciens, constructeurs, etc., et des élèves des écoles spéciales, comprenant l'examen technique des matériaux de construction, la composition, l'exécution et les devis de ces moteurs pour les divers genres, espèces, systèmes et forces connus. 1 vol. in-4° avec figures sur bois intercalées dans le texte, et atlas de 48 pl. gravées à l'échelle. 2e édit.

---

Digitized by Google

# TRAITÉ

THÉORIQUE ET PRATIQUE

DE

# LA MÉTALLURGIE DU FER

A L'USAGE

## DES SAVANTS, DES INGÉNIEURS, DES FABRICANTS

ET DES ÉLÈVES DES ÉCOLES SPÉCIALES,

COMPRENANT

LES FABRICATIONS DE LA FONTE, DU FER, DE L'ACIER ET DU FER BLANC,

ET PRÉCÉDÉ D'UNE INTRODUCTION

CONCERNANT LES PRINCIPES SUR LESQUELS REPOSE CETTE INDUSTRIE;

PAR

C. E. JULLIEN,

INGÉNIEUR,

ancien élève de l'école centrale des arts et manufactures, ex-ingénieur de l'atelier de construction du Creusot, du chemin de fer de Paris à Lyon, des forges de Montataire et des aciéries H. Petin, Gaudet et Comp. de Rive-de-Gier.

**Avec un atlas de 51 planches.**

---

TEXTE.

---

PARIS ET LIÉGE,

E. NOBLET, LIBRAIRE-ÉDITEUR.

Droit de traduction réservé.

1861

Digitized by Google

PARIS. — IMPRIMERIE DE MADAME VEUVE BOUCHARD-HUZARD,
RUE DE L'ÉPERON, 5.

Digitized by Google

# AVANT-PROPOS.

Comme son nom l'indique, cet ouvrage traite de la métallurgie du fer au point de vue *théorique* et au point de vue *pratique*.

En ce qui concerne le point de vue théorique, nous avons le regret de dire que nous sommes en opposition avec tous les auteurs qui ont traité le même sujet avant nous, c'est-à-dire avant 1852, date de nos premiers mémoires.

Convaincu que la théorie que nous donnons des composés que forment entre eux le fer et le carbone est la seule vraie, mais sachant, par expérience, que le *vrai* n'est vrai que quand il est admis; comme, d'une part, l'admission de cette théorie a pour conséquence une révision complète de la chimie; comme, d'autre part, *Newton* a dit: « *Ne tenez pour certain que ce qui est démontré,* » nous attendrons que la lumière se fasse d'elle-même. Cependant, afin d'encourager le lecteur à jeter les yeux sur notre explication de la *trempe*, qui entraine avec elle celle de tous les autres phénomènes, nous croyons devoir mettre sous ses yeux l'appréciation suivante qu'en a faite M. *Gruner*, ingénieur en chef des mines, dans le *Bulletin de la Société minérale de Saint-Étienne* (t. 1er, p. 603) :

« L'intéressant travail de M. Jullien renferme une foule de vues neuves et ingé-
« nieuses. Les principales nous paraissent fondées; quelques autres le sont peut-être
« moins, mais ne sauraient être discutées sérieusement, à moins d'expériences préa-
« lables, variées et nombreuses.

« Cependant M. Jullien nous permettra, dès maintenant, quelques observations.

« 1° Nous admettons volontiers que la fonte et l'acier sont de véritables *dissolu-*
« *tions;* mais est-il bien certain que ce soit le carbone, et non, comme le dit *Karsten*,
« le carbure de fer, qui se trouve en dissolution dans le fer?

« M. Berthier a prouvé, en attaquant des fragments d'acier fondu (acier Huntz-
« mann) par de l'eau chargée d'iode et de brome, que ce composé était, en réalité,
« un mélange très-intime (ou plutôt une *dissolution*) de carbure de fer F C dans le

Digitized by Google

« fer. Le carbure, isolé du fer, se compose, d'après l'analyse de ce savant, rigoureu-
« sement, d'un atome de fer pour un atome de carbone, ou de

« Fer. . . . . 0.817
« Carbone. . . . . 0.183
« 1.000 (*Ann. des mines*, 3e série, t. III, p. 229).

« L'acier et la fonte blanche, envisagés ainsi, offriraient même une plus grande
« analogie avec les verres, considérés comme des dissolutions de silice ou de base
« dans un silicate à proportions fixes.

« Si, dans la fonte blanche et l'acier trempé, le carbone était réellement cristallisé
« à l'état isolé (*diamant*), et non sous forme de carbure FC, il semble que
« le résidu charbonneux laissé par l'acide nitrique serait lui-même grenu, cris-
« tallin, insoluble et non partiellement soluble dans l'eau acidulée. Ce n'est, d'ail-
« leurs, pas le fait de la décarburation de la fonte solide, par voie de cémentation, au
« milieu d'un oxyde métallique, qui s'oppose à l'existence d'un véritable carbure
« de fer. On sait comment M. Leplay a expliqué cette décarburation par le rôle de
« l'oxyde de carbone.

« 2° On admettra difficilement que l'oxyde magnétique de fer (le deutoxyde),
« si nettement cristallisé, ne soit pas une véritable combinaison de protoxyde et
« de peroxyde. Mais nous pensons volontiers, avec l'auteur, que les fers *brûlés*
« et l'oxyde des *battitures* sont, au contraire, de simples dissolutions; seulement,
« à priori, il serait, je crois, difficile de décider si c'est l'oxygène isolé ou l'un des
« oxydes de fer qui se trouve, en réalité, dissous.

« 3° Lorsqu'on envisage la multiplicité des protosilicates, bisilicates et trisilicates
« nettement cristallisés (naturels ou artificiels), il serait, ce me semble, peu ra-
« tionnel de limiter les véritables composés chimiques de la silice à la seule formule
« $SiO^3BO$ et de considérer tous les autres silicates comme une simple dissolution
« d'un excès de silice ou de base dans ce silicate neutre. Mais, cette réserve faite, les
« autres remarques de M. Jullien sur la nature et les propriétés des silicates subsistent
« en leur entier et me paraissent devoir soulever peu d'objections.

« 4° Certains amalgames sont cristallisés, celui d'argent entre autres; il se pour-
« rait donc que les amalgames, en général, fussent aussi plutôt une dissolution d'un
« composé mercuriel fixe dans le mercure qu'une dissolution du métal lui-même
« (*Essais par la voie sèche*, Berthier, t. II, p. 800); peut-être même ne faut-il y voir
« qu'un mélange ou sorte de suspension, puisque la peau de chamois sépare le mer-
« cure pur de l'amalgame solide.

« 5° Enfin, car je ne veux pas étendre outre mesure mes remarques, est-il bien
« certain que les métaux *purs* soient d'autant plus *mous* ou *fibreux* qu'ils sont plus

Digitized by Google

« fortement trempés? Je sais que Darcet a prouvé qu'il en était ainsi du bronze « (Berthier, *Essais par voie sèche*, t. II, p. 424); mais je ne sais si l'expérience « confirmerait cette assertion pour les métaux en général, le zinc, l'antimoine « par exemple.

« Mais, je le répète, ces observations de détail ne sauraient infirmer les deux faits « dominants du mémoire : l'existence d'une manière d'être spéciale des corps solides, « l'état *mou*, et la dissolution des corps solides les uns par les autres lorsque l'un « d'eux, au moins, se trouve dans cet état mou. »

Parmi les objections que renferme cette note, la plus grave serait, sans contredit, la première si elle était confirmée. Or il paraît que M. Berthier s'était trop hâté d'avancer le fait et (voir page 10) que le résidu, qui s'est trouvé une première fois contenir si exactement les proportions de *fer* et *carbone* correspondant à la formule FC, s'est trouvé une seconde fois, et toujours depuis, ne plus contenir que du carbone pur. Quant à l'objection concernant la fonte blanche et l'acier trempé, nous y répondons dans la page 11.

En ce qui concerne le point de vue pratique, nous nous sommes particulièrement attaché à traiter de la fabrication proprement dite, renvoyant, pour tout ce qui concerne les détails d'appareils et de construction, aux excellents ouvrages de MM. *Walter de Saint-Ange* d'une part, et *Flachat*, *Barrault* et *Petiet* d'autre part, ce qui ne nous a pas empêché de trouver encore de quoi remplir un atlas de 51 planches.

Enfin, tout en relatant les nombreux phénomènes physiques et chimiques qui se manifestent dans les diverses opérations sous l'influence croissante ou décroissante du calorique, nous avons eu soin non-seulement d'en donner l'explication, mais encore de faire ressortir, pour les esprits impartiaux, ce en quoi ils confirment la théorie que nous avons émise.

C'est donc, principalement, aux jeunes ingénieurs que nous dédions cet ouvrage; en le feuilletant, ils y trouveront toujours, nous en sommes convaincu, les renseignements dont ils peuvent avoir besoin concernant la fabrication, notamment pour ce qui a rapport au *fer*, à l'*acier* et au *fer blanc*, dont nous nous sommes plus spécialement occupé.

Digitized by Google

# ERRATA.

| Pages. | Lignes. | Au lieu de : | Lire : |
|---|---|---|---|
| 11 | 4 | Ce que, dit-il, | c'est que, dit-il. |
| 70 | 4 | Septième problème, | huitième problème. |
| 73 | 12 | Huitième et dernier problème, | neuvième et dernier problème. |
| 153 | 26 | $l = 2^m.852$, | $l = 0^m.852$. |
| 170 | 41 | Mais il entraîne une partie telle, | mais il en entraîne une partie telle. |
| 180 | 24, 25 | Et de l'autre, | et. |
| 180 | 32 | La préférence, | la présence. |
| 200 | 11 | (Fig. 19, 20, 21, 22, 23, 24, pl. 26), | (fig. 19, 20, pl. 26; et 21, 22, 23, 24, pl. 27). |
| 283 | 7 | Périgord (Champagne) et fonte au coke, | Périgord, Champagne et fonte au coke. |

Digitized by Google

# TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE

DE

# LA MÉTALLURGIE DU FER.

## INTRODUCTION.

La métallurgie du *fer* est, tout à la fois, une *science*, un *art* et une *industrie*.

Elle est une *science* quand, étant donnée l'une des quatre substances : *minerai de fer*, *fer*, *acier*, *fonte*, il s'agit de déterminer le procédé à employer pour convertir cette substance en l'une des trois autres ;

Elle est un *art* quand, étant donné un procédé théorique de fabrication, il s'agit de le mettre en pratique ;

Elle est une *industrie* quand, étant donné un procédé pratique de fabrication, il s'agit de satisfaire, le plus économiquement possible, aux exigences de la consommation.

### I. — DE LA MÉTALLURGIE DU FER CONSIDÉRÉE COMME SCIENCE.

Dans son immortel *Manuel de la métallurgie du fer* (traduction de *Culmann*, 1830), *Karsten*, définissant les *carbures de fer*, dit :

« § 182. Ce qui précède fait voir clairement que le carbone se COMBINE (1) avec le fer de « plusieurs manières.

« La fonte grise peut être regardée comme un mélange de fer aciéreux et de graphite.

« La fonte blanche grillée, devenue grise et douce, est un composé de fer aciéreux et « d'un CARBURE DE FER dans lequel le carbone domine; l'acier non trempé est de même nature.

« L'acier trempé et la fonte blanche sont des composés de fer et carbone, dans lesquels ce « dernier est toujours uni à toute la masse du métal, EN PROPORTION VARIABLE, à la vérité, « mais toujours de la manière la plus homogène. La COMBINAISON du fer avec le carbone est « de la plus haute importance, etc. . . . . .

« § 317. Le carbone se trouve donc contenu dans le fer de trois manières différentes : « 1° à l'état de carbone libre ou de graphite; 2° COMBINÉ avec toute la masse du fer; 3° enfin « à l'état de POLYCARBURE dissous dans toute la masse. »

Tous les savants qui ont écrit sur la matière ont admis ces définitions. Nous prétendons nous que :

(1) C'est nous qui soulignons.



Digitized by Google

Les carbures de fer sont de simples DISSOLUTIONS du carbone dans le métal, tantôt saturé solide, tantôt saturé liquide.

Nous allons essayer de le démontrer.

# LIVRE PREMIER.

## DES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES ET CHIMIQUES AYANT RAPPORT A LA MÉTALLURGIE DU FER.

## CHAPITRE PREMIER.

### DE L'ÉTAT PHYSIQUE, DIT SOLIDE, DES CORPS.

Quand on prend de l'*or*, de l'*argent* ou du *cuivre* liquide, et le coule dans une lingotière métallique froide, le métal se solidifie promptement, et, cassé froid, accuse une texture *fibreuse*.

Si, au contraire, on le maintient pendant longtemps à une température de très-peu inférieure à celle de sa solidification, le métal se solidifie lentement, et, cassé froid, accuse une texture *cristalline*.

En second lieu, si on prend le métal coulé en lingotière froide, c'est-à-dire accusant une texture *fibreuse*, et le soumet à l'action prolongée d'une température de très-peu inférieure à celle de sa liquéfaction, il change de texture, et, cassé froid, il rompt et accuse une texture *cristalline*, comme dans le cas précédent.

Ce que nous disons pour l'*or*, l'*argent* et le *cuivre* a également lieu pour le *fer* et les autres métaux; seulement, parmi ces derniers, il en est qui cristallisent soit plus facilement, soit plus difficilement que ceux que nous avons cités, et ne seraient pas aussi convenables à prendre pour exemple.

Ainsi, que l'on prenne le métal *liquide* ou qu'on le prenne *solide* et *fibreux*, si on le chauffe longtemps à une certaine température, il *cristallise;* si, au contraire, on le prend solide et cristallisé et le chauffe, il conserve sa texture *cristalline*.

Prenons maintenant d'autres corps, par exemple : le *carbone* et le *verre*.

*Carbone*. Quoiqu'il ne soit pas possible de liquéfier ce corps, il est un moyen de reconnaître comment il se comporterait, traité comme nous venons de l'indiquer pour les métaux *or*, *argent* et *cuivre*.

Ce moyen est la découverte suivante, faite par M. *Jacquelain*, préparateur de chimie à l'école centrale des arts et manufactures :

Quand on soumet un *diamant*, dans un creuset brasqué, à l'action, longtemps prolongée, d'une très-haute température, il se dilate et, conservant sa forme, il passe à l'état de *graphite*.

*Verre*. Quand on coule le verre liquide dans une lingotière métallique froide ou dans de

Digitized by Google

l'eau fraîche, il acquiert une dureté et une fragilité d'autant plus grandes, que le refroidissement a été plus prompt.

Quand, au contraire, pris liquide ou coulé en lingotière métallique froide, on le soumet longtemps à l'action prolongée d'une température de très-peu inférieure à celle de sa liquéfaction, il change de nature, et se convertit en une poterie, et même en une pierre aussi facile à tailler que le grès.

Nous concluons de ces faits que :

1° L'état *solide* du corps affecte deux variétés, l'une *cristalline*, l'autre *amorphe*.

2° Pris liquides et refroidis, soit brusquement, soit lentement, tous les corps ne se comportent pas de la même manière, et la cristallisation a lieu, pour les uns, sous l'influence d'un refroidissement brusque, et, pour les autres, sous l'influence d'un refroidissement lent.

### § 1er. Des variétés de l'état solide des corps.

Quand le corps solide est à l'état *cristallin*, on peut définir ainsi ses caractères distinctifs, savoir :

Structure régulière,
Dureté,
Fragilité.

Quand le corps solide est à l'état amorphe, ses caractères distinctifs ne sont pas aussi faciles à définir, en ce sens qu'ils varient suivant la nature même de chaque corps. Ainsi, pour les métaux, l'état amorphe est un véritable état mou, dont les caractères distinctifs sont :

La structure fibreuse,
La docilité,
La ténacité.

Mais pour le carbone, les verres, et une infinité d'autres substances, l'état amorphe est complétement dépourvu de ces trois facultés.

Ces deux variétés de l'état solide sont-elles deux états physiques différents, ou simplement, comme nous venons de les appeler, deux variétés d'un même état physique?

Pour qu'elles constituassent deux états physiques différents, il faudrait que l'une des deux contînt plus de calorique latent que l'autre, c'est-à-dire fût antérieure à l'autre. Or, nous l'avons vu, elles résultent, l'une et l'autre, tantôt de la solidification du corps liquide, tantôt du chauffage de l'autre variété, prise froide. Il faut donc admettre, de toute nécessité, qu'il n'y a qu'un état physique solide des corps, et que cet état solide donne lieu à deux modes de groupement des atomes, provenant de ce que ces derniers ont besoin de se trouver dans certaines conditions calorifiques pour *cristalliser*, et qu'ils ne s'y trouvent pas toujours.

### § 2. De l'influence du mode de refroidissement sur le mode de solidification des corps liquides.

Quand un corps se refroidit, il émet du calorique sensible. Si nous considérons, comme refroidissement naturel, le refroidissement du corps dans l'air, il est clair que :

Digitized by Google

Quand son refroidissement est plus prompt qu'à l'air libre, il y a *exaltation* de son pouvoir émissif;

Quand son refroidissement est plus lent qu'à l'air libre, il y a *anéantissement* de son pouvoir émissif.

Or il résulte de ce que nous avons dit concernant l'*or*, l'*argent* et le *cuivre* d'une part, et le *carbone* et le *verre* d'autre part, que les corps, pris liquides et refroidis, se divisent en deux catégories, savoir :

1° Les corps qui *cristallisent* d'autant plus intégralement que l'*exaltation* de leur pouvoir émissif a été plus grande; passent, au contraire, d'autant plus intégralement à l'état *amorphe*, que l'*anéantissement* de leur pouvoir émissif a été plus complet.

2° Les corps qui *cristallisent* d'autant plus intégralement que l'*anéantissement* de leur pouvoir émissif a été plus complet; passent, au contraire, d'autant plus intégralement à l'état *amorphe*, que l'*exaltation* de leur pouvoir émissif a été plus grande.

Le *carbone* et le *verre* sont de la première catégorie; les métaux et le *soufre* sont de la seconde. Or, si nous jetons les yeux sur le tableau, dressé par *Leslie*, qui donne les pouvoirs rayonnants relatifs des différents corps, nous trouvons :

| | |
|---|---|
| Noir de fumée. . . . . | 100 |
| — verre. . . . . | 90 |
| Or, argent, cuivre, etc. . . . . | 12 |

Le noir de fumée, c'est le carbone amorphe; c'est donc toujours le carbone.

Nous concluons de ce tableau que plus le pouvoir rayonnant du corps liquide est *grand*, plus il faut *exalter* son pouvoir émissif pour le faire *cristalliser* en se solidifiant; plus le pouvoir rayonnant du corps liquide est *faible*, plus il faut *anéantir* son pouvoir émissif pour le faire *cristalliser* en se solidifiant. L'action exaltante ou anéantissante du pouvoir émissif se faisant primitivement sentir à la surface du corps chaud, on peut dire que, dans tout corps sphérique soumis au refroidissement :

L'*exaltation* du pouvoir émissif va en décroissant depuis la surface jusqu'au centre;

L'*anéantissement* du pouvoir émissif va, au contraire, en croissant depuis la surface jusqu'au centre. Il en résulte que :

Quand les corps cristallisent par *exaltation* du pouvoir émissif, la cristallisation marche de la *surface* au *centre;*

Quand, au contraire, les corps cristallisent par anéantissement du pouvoir émissif, la cristallisation marche du *centre* à la *surface*.

Ainsi le *carbone* et le *verre* doivent cristalliser de la surface au centre; les *métaux* et le *soufre* doivent cristalliser du centre à la surface.

Le fait est connu en ce qui concerne les métaux et le soufre; du moins il est démontré que, quand ces corps cristallisent, c'est à l'intérieur que commence la cristallisation, quand la surface est déjà passée à l'état amorphe. Si le centre n'est pas le point de départ, c'est parce que la cristallisation exige un point d'appui; mais tous les cristaux convergent vers le centre.

En ce qui concerne le *carbone*, le fait semble démontré par l'existence de graphite au centre de certains diamants, si on admet que, primitivement, ils ont été liquides.

Digitized by Google

En ce qui concerne le *verre*, nous ne pouvons citer de faits analogues, n'ayant jamais vu ce corps que complétement cristallisé ou complétement amorphe. Mais cela ne prouve pas qu'il n'en soit pas ainsi que nous le disons. Nous reviendrons plus loin sur ces principes, qui nous serviront à expliquer la *trempe*.

---

## CHAPITRE II.

### DES ÉTATS CHIMIQUES DES CORPS.

Les états chimiques des corps, envisagés sous un certain point de vue, ont, à notre avis, une telle analogie avec les états physiques, qu'il est impossible de ne pas en conclure qu'ils sont régis par la même loi; on va, du reste, en juger.

Quand on plonge un corps *solide*, relativement *froid*, dans un milieu relativement *chaud*, ce corps se dilate et atteint, insensiblement, la température du milieu. Si cette température est supérieure à celle de sa liquéfaction, il entre en fusion, et rend *latente* une certaine quantité du calorique *sensible* qu'il a absorbé.

Autrefois les physiciens admettaient que le calorique, *fluide moléculaire* en contact avec le corps, constitue une espèce de composé, dont le volume, plus ou moins égal à la somme des volumes des composants, augmente ou diminue, suivant que le composant variable, *le calorique sensible*, augmente ou diminue lui-même (Berzélius, traduction Esslinger et Hœfer, 1846, t. I^er^, p. 41).

Comme conséquence de cette théorie, le changement d'état physique se trouve être le résultat de la combinaison du corps avec le calorique sensible ainsi dissous (Berzélius, t. I^er^, p. 49).

Aujourd'hui, parce que quelques phénomènes, mal étudiés, semblent contredire cette opinion rationnelle, on la repousse en avouant qu'on n'en a pas d'autre à lui opposer (Berzélius, p. 49). Nous ne suivrons pas les savants dans cette manière de voir, et continuerons, avec les anciens physiciens, à considérer :

La *dilatation* des corps comme le résultat de la *dissolution* du calorique sensible par le corps;

Le *changement d'état physique* comme le résultat de la *combinaison* du calorique sensible avec le corps.

Or voici ce que, en admettant cette manière de voir, on observe :

Quand le calorique est à l'état de dissolution dans les corps,

1° Les composants sont, en toutes proportions, entre un *minimum* et un *maximum* de saturation, correspondant chacun à un changement d'état physique;

2° Les propriétés du composé *participent* des propriétés des composants;

3° La décomposition du composé, c'est-à-dire le retrait du calorique sensible, produisant abaissement de la température, a lieu, et se transmet simultanément à toute la masse, si le réactif, qui est un corps suffisamment froid, a seulement un contact superficiel avec le composé (nous faisons abstraction du rayonnement, dont l'action, même dans le vide, est analogue à celle du corps froid).

Digitized by Google

Quand le calorique est à l'état de combinaison dans le corps :

1° Les composants sont en proportions *constantes* et *exactes*;

2° Les propriétés du composé *différent* essentiellement des propriétés des composants;

3° La décomposition du composé, c'est-à-dire le changement d'état physique par refroidissement, n'a lieu que successivement et non simultanément, comme précédemment.

Si du calorique en présence du corps nous passons au corps en présence du corps, et considérons, comme type de la *dissolution*, *l'eau chargée de sulfate de cuivre*, et, comme type de la *combinaison*, *l'eau pure*, nous voyons que,

Quand il y a dissolution :

1° Les composants sont, en *toutes* proportions, au-dessous d'un maximum de saturation;

2° Les propriétés physiques et chimiques du composé *participent* des propriétés physiques et chimiques des composants;

3° La décomposition, par réaction chimique ou de la pile du composé, a lieu, et se transmet simultanément dans toute la masse, s'il y a seulement un contact superficiel entre le réactif et le composé.

Quand il y a combinaison :

1° Les composants sont en proportions *constantes* et *exactes*;

2° Les propriétés physiques et chimiques du composé *différent* essentiellement des propriétés physiques et chimiques des composants;

3° La décomposition, par réaction chimique ou de la pile, n'a lieu que successivement, si le réactif est soluble dans ce composé; s'il est insoluble, que là où il y a contact atomique entre le réactif et le composé.

Ainsi la nature est logique; la même loi règle les rapports du calorique avec le corps et des corps entre eux.

En présence de ce fait constaté, que les quantités de calorique latent, correspondant aux changements d'état physique pour un même corps, sont constantes, il est difficile de ne pas admettre que le calorique est un fluide moléculaire.

En second lieu, admettant que l'état solide des corps ne contient pas de calorique latent, et que, partant, la matière peut être antérieure à la présence du calorique, hypothèse admise, quoique, à notre avis, fausse, on ne peut contester que le calorique existe, à l'état de dissolution apparente, dans les corps solides aussi bien que dans les liquides et les gaz. Pourquoi donc un composé, reconnu dissolution quand il est liquide, ne le serait-il plus quand il est solide, et doit-il être qualifié de *dissolution solidifiée* (Berzélius, t. III, p. 153)? Cette opinion n'est pas soutenable.

La dissolution solide existe, et, du moment où elle existe, il y a une foule de corps que l'on a improprement qualifiés du nom de combinaison, et qui ne sont autre chose que des dissolutions solides.

Les caractères distinctifs de la combinaison et de la dissolution étant définis, quelle différence faut-il établir entre ces composés?

Sans rechercher quels sont les agents de la formation de ces deux composés, nous remarquons d'abord que :

1° Les corps ne se combinent entre eux, à quelques rares exceptions près, qui ne sont pro-

Digitized by Google

bablement pas des combinaisons, qu'autant qu'ils appartiennent à la même classe de la nomenclature, c'est-à-dire les corps simples avec les corps simples, les composés binaires avec les composés binaires, et ainsi de suite;

2° Les combinaisons entre corps de la même classe sont d'autant plus stables, que ces corps sont situés à une plus grande distance l'un de l'autre dans l'échelle électro-chimique.

Mais de ce qu'une combinaison est peu stable, il ne faut pas en conclure qu'elle est une dissolution; seulement on peut admettre que tous les corps ont une affinité naturelle et non relative, résultant de leur polarité atomique; que cette affinité dépend de l'état électrique et de l'énergie du pôle prédominant.

Enfin que, quand les énergies polaires, mises en présence, se présentent de signes contraires, mais impuissantes pour se saturer, ou incommensurables, il y a dissolution.

Lors donc que deux corps de la même classe sont mis en contact, s'ils se présentent électro-dominants de signes contraires, ils commencent par se dissoudre jusqu'au moment où les atomes se trouvant en proportions convenables, c'est-à-dire en énergies polaires commensurables, ils se combinent.

Le fait suivant prouve que, pour les états chimiques comme pour les états physiques, la dissolution est préliminaire de la combinaison.

Quand on chauffe graduellement une barre de fer décapé, elle prend successivement les colorations *jaune, orangé, rouge, violet, indigo, bleu, vert*, puis elle se couvre d'une couche de deutoxyde. Si, à ce moment, la température reste constante pendant plusieurs semaines, le métal, primitivement à grain aciéreux ou à nerf, prend une texture à grain fin demi-mat et devient cassant comme du verre; on le nomme *fer brûlé*. En même temps la couche de deutoxyde augmente tous les jours au détriment du métal, et se convertit elle-même, successivement, en peroxyde.

Sans discuter ici la nature du deutoxyde, que nous examinerons plus loin, il est impossible d'assigner aux colorations et au fer brûlé un autre nom que celui de dissolution d'oxygène préliminaire de la combinaison. Des faits analogues ont lieu pour un grand nombre d'autres corps, d'où résulte que, comme nous l'avons dit, quand deux corps n'ont pas de répulsion l'un pour l'autre, l'affinité naturelle les porte d'abord à se dissoudre.

Il résulte de là que l'on peut considérer la *combinaison* comme un *accouplement atomique*, tandis que la *dissolution* n'est qu'un simple remplissage réciproque de porosités atomiques, donnant nécessairement lieu à un combat entre les affinités des corps et celle du calorique en dissolution. La conséquence de ce combat peut être l'une des trois suivantes, savoir :

1° Ou le volume du composé est plus grand que la somme des volumes des composants;
2° Ou il est égal à cette somme;
3° Ou il est plus petit que cette somme.

Si le volume du composé est plus grand que la somme des volumes des composants, ce qui doit être fort rare, cela provient de ce que les atomes, de formes particulières, ont plus de peine à s'enchevêtrer, quoique distants les uns des autres, quand les deux espèces sont réunies que quand elles sont séparées. Alors, même en supposant les deux corps liquides avant et

Digitized by Google

pendant la dissolution, comme le volume des porosités affectées au calorique a augmenté, la densité de ce dernier a diminué, et il y a abaissement de température.

Si le volume du composé est égal à la somme des volumes des composants, le volume des porosités affectées au calorique reste le même qu'avant la réaction, et la température ne change pas.

Enfin, si le volume du composé est plus petit que la somme des volumes des composants, le volume des porosités affectées au calorique diminuant, la densité de ce dernier augmente, et il y a élévation de la température.

C'est donc une erreur de considérer, comme combinaison, le mélange d'acide sulfurique concentré et d'eau, par la seule raison qu'il y a condensation des volumes composants et élévation de la température.

Il faut, en plus, que le composé présente les caractères distinctifs de la combinaison, et il ne les accuse nullement.

Si on admettait que le calorique est le fluide naturel des électricités, on expliquerait facilement pourquoi, dans la combinaison, il y a toujours dégagement de chaleur, comme l'observe *Berzélius*. Mais, si on ne peut expliquer pourquoi la combinaison est une source de calorique, il n'en est pas de même des phénomènes calorifiques qui accompagnent la dissolution.

Quand on dissout un corps solide dans un corps liquide, il y a refroidissement, parce que le changement d'état physique du corps solide rend latent du calorique sensible.

Réciproquement, quand on dissout un gaz dans un liquide ou un liquide dans un solide, il y a échauffement, parce que le changement d'état physique du corps dissous rend sensible du calorique latent.

C'est donc également une erreur (*Berzélius*, tome I^er^, page 407) de considérer, comme combinaisons, la chaux éteinte et la masse solide résultant du mélange de :

10 Sulfate de soude anhydre,
14 Eau,

uniquement parce que, pendant la réaction, il y a un fort dégagement de chaleur.

On peut objecter, il est vrai, que, si l'eau était solidifiée, on verrait ses cristaux; mais, comme nous l'avons fait observer en parlant de l'état physique solide, il y a deux variétés de l'état solide, et, si l'eau n'affecte pas l'état amorphe quand elle est pure, rien ne prouve qu'elle ne peut l'affecter à l'état de dissolution.

Qu'est-ce que l'état amorphe, en définitive? c'est l'état solide, moins le groupement régulier des atomes. Pourquoi l'eau serait-elle incapable d'affecter cet état? rien ne s'y oppose; s'il est quelque chose d'étonnant, c'est qu'elle ne l'affecte pas pure, comme le carbone et les métaux.

Étant donc admis que la dissolution est un état chimique tout aussi susceptible, que la combinaison, d'affecter les états physiques solide, liquide et gazeux, on peut dire, au point de vue de l'application de la science à l'industrie, que :

La combinaison crée, sinon absolument, du moins relativement, de nouveaux produits, tout en obéissant aux lois de la nature.

Digitized by Google

La dissolution, au contraire, utilise les propriétés collectives des corps qui la composent, et crée ainsi de nouvelles lois qui, sans elle, n'auraient pas lieu.

En effet, du moment où la dissolution est admise pour tous les états physiques, il peut arriver que les corps qui la composent affectent non-seulement des états physiques différents, mais encore, pour l'état physique solide, l'une ou l'autre de ses variétés.

Qu'on nous permette un exemple :

Le *fer* et le *carbone* sont deux corps susceptibles d'affecter les deux variétés de l'état solide; seulement les causes qui font cristalliser l'un font passer l'autre à l'état amorphe.

Quand on met ces deux corps en contact, sous l'influence d'une température rouge clair, pendant vingt à trente jours, suivant l'épaisseur du métal, on remarque, au bout de ce temps, que le carbone a pénétré dans le fer, et lui a communiqué de nouvelles propriétés.

Laissons un instant intacte la question relative à la nature du composé produit. Si on prend une barre fortement cémentée et la casse : elle rompt net, et accuse une texture cristalline à facettes cubiques. Du reste, le métal se laisse forger à chaud et entailler à froid par le burin et la lime, comme avant la cémentation. Si alors on chauffe cette barre au rouge-cerise, et la plonge telle quelle, sans l'avoir forgée, dans de l'eau très-fraîche, en ayant soin de l'agiter en tous sens pour exalter son pouvoir émissif par le renouvellement des surfaces en contact, puis la casse : elle rompt net, et accuse une texture à grains fins, blancs et *brillants*. De plus, le burin et la lime cessent de pouvoir l'entailler.

Ainsi, par le fait seul de la trempe, la texture, qui était à facettes, est devenue à grains fins; le métal, qui était docile, est devenu *dur*.

Tout le monde est d'accord pour reconnaître que l'acier est une dissolution; seulement nous prétendons que c'est une simple dissolution de carbone dans le fer, tandis que Karsten prétend que c'est une dissolution dans le métal d'un carbure de fer produit à sa surface pendant la cémentation.

Supposons que notre manière de voir est la vraie, ne voit-on pas immédiatement que :

1° Dans la caisse à cémenter, l'acier est une dissolution de carbone liquide dans le fer amorphe d'abord, puis enfin cristallisé sous l'influence d'une température voisine de sa liquéfaction;

2° La barre à texture cristalline froide est une dissolution, dans le métal cristallisé, de carbone solide rendu amorphe par le refroidissement lent;

3° La même barre, chauffée au rouge-cerise, est redevenue ce qu'elle était dans la caisse, c'est-à-dire fer cristallisé, tenant en dissolution du carbone liquide;

4° La même barre, plongée dans l'eau fraîche, est une dissolution, dans le métal amorphe, de carbone solide cristallisé sous l'influence de la trempe énergique à laquelle la barre a été soumise?

Ainsi voilà non-seulement trois états sinon physiques, du moins naturels de la barre par suite de la dissolution, mais encore trois produits distincts, dont deux, l'acier trempé et l'acier doux, jouent un rôle important dans l'industrie.

Nous démontrerons tout à l'heure que notre hypothèse est la seule vraie; tout ce que nous demandons pour le moment, c'est qu'on reconnaisse que, si réellement la dissolution est capable d'utiliser les propriétés collectives des corps solides et créer ainsi de nouvelles lois,



Digitized by Google

son rôle, dans la chimie, est au moins aussi important que celui de la combinaison; que c'est à elle qu'il faut attribuer certains composés inorganiques inexplicables par la combinaison, tels que les *carbures de fer*, les *verres*, le *deutoxyde de fer*, le *pourpre de Cassius*, les *fers brûlés*, les *colorations du recuit*, etc., et tous les phénomènes de la nature organique.

En ce qui concerne les *carbures de fer*, la seule expérience sérieuse qui ait été faite pour déterminer, *à priori*, la nature des composés de *fer* et de *carbone*, est celle de M. *Berthier* (Annales des mines, 3e série, t. III, p. 229); cette expérience est la suivante :

Si on dissout de l'acier dans de l'eau chargée d'*iode* et de *brome*, cette substance laisse un résidu insoluble qui, analysé, accuse la composition :

| | |
|---|---|
| Fer. . . . . | 817 |
| Carbone. . . . . | 183 |
| | 1000 |

correspondant exactement à la formule $FeC$.

Admettant que ce résidu est réellement une combinaison, ce qui n'est pas suffisamment démontré jusqu'ici (1), il prouve, à notre avis, que le fer et le carbone, à l'état de dissolution, sont susceptibles de se combiner sous l'influence de l'*iode* et du *brome*, mais nullement que cette combinaison préexistait avant le contact de ces réactifs.

En effet, l'oxygène, bien qu'incapable de se combiner avec l'azote de l'air, quelles que soient la température et la pression dans les circonstances ordinaires, acquiert instantanément cette faculté en présence d'une base énergique, si, préalablement, il a été soumis :

*Humide* à l'action des vapeurs du *phosphore* ;

*Sec* à l'action prolongée d'un courant d'étincelles électriques.

Il porte alors le nom d'*ozone*. Ce phénomène d'allotropie pour l'oxygène soumis à l'action des vapeurs de *phosphore* et d'*eau* peut parfaitement se manifester chez le carbone et le fer mis en présence de l'*iode* et du *brome*.

Les raisons qui nous font considérer les carbures de fer comme de simples dissolutions du carbone dans le métal ne sont pas, comme celles de M. *Berthier*, basées sur l'analyse, mais sur les propriétés mêmes de ces composés. Comme, en définitive, ce sont les mêmes raisons qui ont porté *Karsten* à considérer ces composés comme des dissolutions, dans le métal, d'un carbure

(1) En effet, voici ce que nous lisons dans le *Technologiste* (t. III, p. 169) :

« *Analyse d'un acier à filières provenant d'Allemagne*, par M. P. Berthier.

« Ces filières sont en plaques épaisses d'environ 1/2 centimètre, polies sur chaque face et percées de trous coniques taraudés de différents diamètres. On les emploie pour étirer le cuivre argenté et doré, et l'on annonce que le métal dont elles sont composées est très-facile à travailler, et néanmoins très-dur. Ce métal est tellement fragile, qu'on le divise aisément en très-petits morceaux en le frappant sur une enclume avec la tranche d'un marteau de grandeur ordinaire. Sa cassure est grenue, à grains très-fins, et d'un gris blanc absolument comme l'acier fondu.

« Il se dissout dans l'acide muriatique sans laisser le moindre résidu, et le gaz qui se dégage n'a aucune odeur désagréable. *En le traitant par le brome, il reste du charbon noir parfaitement pur* dont la proportion s'élève à 0,05.

« Cette matière est donc remarquable; c'est du fer carburé saturé de carbone, exempt de toute substance étrangère, et dans lequel le carbone se trouve en totalité à *l'état de combinaison comme dans la fonte blanche*..... »

Digitized by Google

de fer, le lecteur appréciera facilement lequel, de *Karsten* ou de nous, donne les meilleures raisons.

Un des motifs qui portent ce savant métallurgiste à voir, dans les carbures de fer, autre chose que de simples dissolutions, ce que, dit-il (*Manuel de la métallurgie du fer*, traduction Culmann, 1830, § 316) : « Si les fers carburés ne différaient entre eux que par la quantité de « carbone qu'ils contiennent, ils devraient présenter à peu près les mêmes phénomènes dans « leur traitement par les acides ou par d'autres corps, ce qui n'a pas lieu... »

Or, précisément, l'action des acides confirme complétement notre manière de voir. En effet, quand le carbone est à l'état de graphite, comme dans la fonte grise, les acides ne l'attaquent pas; quand il est dissous, mais à l'état *cristallin*, comme dans l'acier trempé et la fonte blanche, il faut la température, c'est-à-dire le ramollissement du carbone, son passage de l'état cristallin à l'état amorphe, pour le rendre attaquable; enfin, quand il est dissous à l'état amorphe, comme dans l'acier doux, il est attaqué et forme des combinaisons conformément à ce qui a lieu pour le même corps à l'état de dissolution dans la matière organique.

Nous avons fait connaître les conclusions de *Karsten*. Il nous serait impossible, sans copier son livre, de donner ici les raisons qu'il invoque à l'appui de sa théorie; nous répétons seulement que, si cet illustre métallurgiste eût soupçonné l'état chimique de la dissolution, il serait arrivé aux mêmes conclusions que nous. Voici maintenant les faits que nous invoquons à l'appui de notre théorie :

1° Depuis son état de pureté chimique jusqu'à l'état de fonte blanche lamelleuse, le fer absorbe le carbone en toutes proportions au-dessous de son maximum de saturation.

2° L'acier doux se comporte, à froid et à chaud, comme les fers impurs; il a le nerf d'autant plus court et il est d'autant moins réfractaire au feu, qu'il est plus saturé de carbone.

3° L'acier trempé et la fonte blanche ont une dureté qui ne peut être attribuée qu'au composant dissous dans le métal, et cette dureté se rapproche sensiblement de celle du carbone pur cristallisé.

4° La fonte grise est reconnue par *Karsten* comme un mélange de fer aciéreux et de graphite.

5° La fonte grise trempée se comporte comme l'acier trempé, à la présenee du graphite intercalé près.

6° Quand on cémente la fonte solide dans un oxyde métallique, à l'abri du contact de l'air, elle se convertit d'abord en acier, ensuite en fer.

Ces faits, mis en présence des caractères distinctifs (page 5) de la combinaison et de la dissolution, démontrent, savoir :

Le n° 1, que les composés de fer et carbone affectent le premier caractère distinctif de la dissolution ;

Le n° 2 et le n° 3, que, d'après le second caractère distinctif de la dissolution, les composants sont le *fer* et le *carbone pur* ;

Le n° 4, que, si le composant dissous était un carbure de fer, le dépôt que fait la fonte en se solidifiant lentement devrait être ce carbure de fer et non du carbone pur ;

Le n° 5, que le fer aciéreux contenu dans la fonte grise n'est autre chose que de l'acier, dont le degré de saturation dépend de la température à laquelle a lieu la solidification ;

Digitized by Google

Le n° 6, que les composés de fer et carbone affectent le troisième caractère dictinctif de la dissolution.

Il nous reste encore à démontrer que la solubilité du carbone dans le fer est proportionnelle à la température.

Karsten a constaté (§ 178 et 318) que le fer, saturé solide, ne contient jamais plus de 2.3 à 3 pour 100 de carbone; il a, de même, constaté (§ 177 et 317) que le fer saturé liquide ne contient jamais plus de 5.25 à 5.30 pour 100 de carbone.

En outre, l'expérience des aciéries et des hauts fourneaux démontre tous les jours que les aciers et les fontes sont d'autant moins saturés que les températures des caisses à cémenter et des appareils de réduction du minerai sont plus basses, d'autant plus saturés que les températures desdits appareils sont plus élevées.

Nous allons clore ce chapitre par l'explication de certains phénomènes.

### De la trempe du bronze.

M. *d'Arcet* a, le premier, constaté que, quand on chauffe au rouge naissant une lame de bronze de 5 à 6 millimètres d'épaisseur au plus, et la plonge dans de l'eau très-fraiche, en l'agitant fortement pour accélérer son refroidissement, le métal devient mou comme du cuivre rouge, dont la texture a pris l'aspect fibreux et foncé en couleur, à la place de la texture cristalline et claire qu'il avait auparavant.

Le *bronze* est un *alliage* ou *dissolution solide* de 90 *cuivre* et 10 *étain*.

Le *cuivre* est un métal qui cristallise plus difficilement que l'or quand on le maintient longtemps à une température de très peu inférieure à celle de sa liquéfaction.

L'*étain*, au contraire, est un métal qui, même coulé en lingotière froide et en couche mince, accuse toujours, en se solidifiant, un commencement de cristallisation centrale qu'on reconnait à son cri en le pliant.

Quand on fond ensemble du cuivre et de l'étain, quelle que soit la proportion de ce dernier métal, l'alliage coulé, même en lingotière froide, met toujours plus de temps à se refroidir que l'étain qui y est contenu en mettrait, coulé seul. Il en résulte que plus le volume de l'alliage est considérable par rapport au volume d'étain qu'il contient, plus la durée relative du refroidissement est grande, et plus la cristallisation de l'étain est intégrale. Le cuivre, au contraire, passe à l'état mou, parce que la durée du refroidissement n'est pas assez grande.

En second lieu, les températures de fusion du cuivre et de l'étain sont si éloignées l'une de l'autre, que l'on peut cémenter du cuivre dans de l'étain liquide, et que, au rouge naissant, le bronze doit être considéré comme une dissolution d'étain liquide dans le cuivre mou.

Si donc on prend ce composé en lame très-mince, et le plonge, ainsi chauffé, dans de l'eau très-fraiche : dans ce cas, la durée du refroidissement est assez petit pour que l'étain, en se solidifiant, n'ait pas le temps de cristalliser. Il passe alors à l'état mou, et, comme le cuivre est lui-même mou, le composé de ces deux métaux est mou.

Tel est, sans contredit, le résultat de la trempe du bronze.

### De la trempe du verre.

Les silicates, tant naturels qu'artificiels, sont-ils tous des combinaisons ou des dissolutions?

Digitized by Google

Quand on fond ensemble de la silice et des carbonates métalliques, on obtient des verres à toutes proportions des composants.

Si ce sont des dissolutions, faut-il, comme les carbures de fer, les considérer comme de simples dissolutions réciproques des composants?

Ce n'est pas notre avis, parce que, quand on fond ensemble des quantités de silice et d'une base proportionnelles à leurs équivalents chimiques, on obtient très-facilement des cristaux détachés, tandis que, quand les proportions des composants sont quelconques, les cristaux cessent d'être apparents.

Appelant *silicate neutre* tout silicate à un atome d'acide pour un atome de protoxyde, nous formons le tableau suivant :

*Tableau des proportions de silice contenues dans le silicate neutre pour diverses bases.*

| ÉLÉMENTS BINAIRES. | FORMULES. | PROPORTIONS ATOMIQUES. | | PROPORTIONS DES COMPOSANTS pour 100 DE SILICATE NEUTRE. | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Métal. | Oxygène. | Acide. | Base. |
| Silice | $SiO^3$ | 277.778 | 300 | » | » |
| Chaux | CaO | 251.651 | 100 | 62.0 | 38.0 |
| Potasse | KaO | 488.856 | 100 | 49.8 | 50.2 |
| Soude | NaO | 289.729 | 100 | 59.8 | 40.2 |
| Magnésie | MgO | 158.140 | 100 | 69.0 | 31.0 |
| Alumine | $Al^2O^3$ | 341.800 | 300 | 47.0 | 53.0 |
| Protoxyde de fer | FeO | 350 527 | 100 | 56.0 | 44.0 |
| Protoxyde de manganèse | MnO | 344.684 | 100 | 56.5 | 43.5 |
| Protoxyde de plomb | PbO | 1294.645 | 100 | 29.2 | 70.8 |

Prenant ensuite pour exemple le composé qui, d'après le tableau, représente le silicate neutre de chaux, ne peut-on pas dire que :

Si réellement 62 silice et 38 chaux sont une combinaison, tout composé de silice et de chaux contenant plus de 62 pour 100 de silice, ou plus de 38 pour 100 de chaux, est une dissolution, dans le silicate neutre, d'un excès de l'un de ses composants ?

On reconnaîtra peut-être, un jour, que les combinaisons de la silice avec les bases correspondent à d'autres proportions atomiques des composants ; mais cela n'infirme pas le principe. Or les verres contiennent généralement (Berzélius, t. III, p. 235 et 236, et t. IV, p. 99), d'après les analyses de MM. *Dumas* et *Berthier*, de 40 à 75 pour 100 de silice, et ont, pour bases diverses mélangées, les différents oxydes qui figurent dans le tableau ci-dessus, c'est-à-dire tantôt un peu plus de 1, tantôt un peu moins de 1 atome silice pour 1 atome de base. D'après

Digitized by Google

cela, si le principe que nous venons de poser n'est pas vrai, il a, du moins, toutes les apparences de la vérité.

Voyons quelles vont en être les conséquences.

Le silicate neutre étant susceptible de dissoudre un excès de l'un de ses composants, il faut distinguer deux cas, savoir :

1° Ou la proportion du composant dissous dans le silicate neutre liquide est inférieure à celle constituant le maximum de saturation du silicate neutre solide ;

2° Ou cette proportion est supérieure au maximum de saturation du silicate neutre solide.

Dans le premier cas, le verre obtenu est analogue à l'*acier ;*

Dans le second cas, le verre obtenu est analogue à la *fonte*.

Le verre est, comme le carbone et l'eau, un corps doué d'un grand pouvoir rayonnant. Quand on le plonge liquide dans l'eau, il constitue les larmes bataviques, d'autant plus dures et plus fragiles, quand on les fait casser, que les proportions des composants se rapprochent plus de la composition du silicate neutre. Ainsi, tandis que les larmes bataviques provenant du verre à vitre éclatent en poussière impalpable, celles provenant du verre à bouteille de Rive-de-Gier éclatent en gros cristaux. Il faut donc admettre que, dans le verre, le composant doué du pouvoir rayonnant fort est le silicate neutre, et que le composant doué du pouvoir rayonnant faible est l'acide ou la base dissoute.

Trempe du *verre-acier*. Si on prend du verre-acier liquide et le plonge dans un milieu suffisamment froid et conducteur du calorique, le silicate neutre cristallise, et on obtient un verre *transparent, limpide* et *fragile ;* si, au contraire, on le maintient longtemps à une température de très-peu inférieure à celle de sa liquéfaction, le silicate neutre passe à l'état amorphe, et on obtient une poterie *homogène* et *translucide*.

Trempe du *verre-fonte*. Si on prend du verre-fonte liquide et le plonge dans un milieu suffisamment froid et conducteur du calorique, le silicate neutre cristallise encore et on obtient un verre transparent, limpide et fragile, mais à un degré moindre que le précédent ; si, au contraire, on le maintient longtemps à une température très-peu inférieure à celle de sa liquéfaction, le silicate neutre passe à l'état amorphe et dépose, à l'état apparent de graphite, la proportion de composant qu'il ne peut dissoudre étant solide : on obtient alors une pierre pouvant se tailler et servant, aux *hauts fourneaux* du *Nord*, à faire des maisons aux ouvriers.

Ainsi le verre, comme les carbures de fer, constitue quatre variétés, savoir :

| | Correspondant à |
|---|---|
| Le verre-acier trempé doux. . . . . | l'acier doux. |
| Le verre-acier trempé vif. . . . . | l'acier trempé. |
| Le verre-fonte trempé vif. . . . . | la fonte blanche. |
| Le verre-fonte trempé doux. . . . . | la fonte grise. |

Le verre-acier et le verre-fonte trempés vifs ont entre eux la même analogie que l'acier trempé et la fonte blanche. Ce sont, d'une part, le verre à vitres, de l'autre le verre à bouteilles peu siliceux ou le laitier de hauts fourneaux.

Nous pouvons nous tromper, mais nous croyons n'être pas très-loin de la vérité. Si du verre nous passons aux silicates naturels, nous devons conclure que les laves et granits, à composi-

Digitized by Google

tions identiques, quoiqu'à cassures différentes, sont des verres-fontes tantôt trempés vifs, tantôt trempés doux. Mais le sujet est trop vaste pour que nous croyions devoir l'aborder.

# LIVRE II.

## DU FER PUR, DE SES DISSOLUTIONS ET DE SES COMBINAISONS.

Le fer pur est un métal qui affecte l'état solide jusqu'à une température tellement élevée, que, dans les arts, on le considère comme *infusible*. Cependant, d'après des expériences faites en Angleterre, on peut, à l'aide d'un miroir ardent de *Parker*, fondre, en 12 secondes, 1/2 gramme de fer pur. Dans ce cas, refroidi promptement, le métal accuse une texture blanche, argentine et fibreuse, et une densité égale à 7,700; refroidi très-lentement, au contraire, il cristallise à facettes cubiques.

Le *fer* est donc, comme l'*or*, le *cuivre* et l'*argent*, un métal qui, pris liquide et plongé dans un milieu qui exalte son pouvoir émissif, cassé froid accuse une texture fibreuse; pris liquide et plongé dans un milieu qui anéantit son pouvoir émissif, cassé froid accuse une texture cristalline. En d'autres termes, le fer est de la catégorie des métaux qui, doués d'un pouvoir rayonnant très-faible, *cristallisent* d'autant plus intégralement, en se solidifiant, que la durée du changement d'état physique est plus longue; passent, au contraire, d'autant plus intégralement à l'état *mou*, que la durée du changement d'état physique est plus courte.

Quand le fer affecte l'état mou, on remarque que plus il est pur, plus il est ductile et malléable, plus sa texture, à froid, est fibreuse, blanche et terne. Quand la cassure est à grains crochus, d'un gris clair affectant l'état métallique, la qualité du métal peut n'être pas moindre au point de vue de son emploi dans les arts, mais il n'est pas pur. Dans ce cas, il est allié d'une petite proportion de carbone résultant des procédés employés pour sa fabrication.

Outre le carbone, les fers du commerce contiennent plusieurs autres substances, telles que le silicium, le phosphore et le soufre.

Ils contiennent aussi quelquefois de l'*oxygène*, auquel cas on les désigne sous le nom de *fers brûlés;* mais alors ils ne contiennent pas de carbone (Karsten, § 178).

Le carbone et l'oxygène sont les deux agents principaux de la fabrication du fer, soit comme *réactifs*, soit comme *générateurs de calorique;* aussi l'étude des relations de ces deux corps soit avec le métal, soit entre eux embrasse-t-elle, à elle seule, toute la métallurgie du fer.

En conséquence, nous allons commencer par exposer les propriétés des composés binaires

Digitized by Google

que forment entre eux le *fer* et le *carbone*, le *fer* et l'*oxygène*, le *carbone* et l'*oxygène*, puis nous mettrons les trois corps en présence et terminerons par un examen des *fers*, *aciers* et *fontes* du commerce.

---

## CHAPITRE PREMIER.

### DES COMPOSÉS BINAIRES QUE FORMENT ENTRE EUX LE FER ET LE CARBONE.

Lorsque l'on met dans une caisse en briques réfractaires, fermée aussi hermétiquement que possible, un mélange de fer en *barres* et de charbon de bois en petits morceaux, et chauffe ce mélange, pendant plusieurs jours, à une température comprise entre le *rouge-cerise* et le rouge *blanc*, on remarque, au bout de ce temps, que le carbone a pénétré dans le métal et donné lieu à un composé qui, dans les arts, porte le nom d'*acier*.

Quand le chauffage est uniforme, l'épaisseur de la couche superficielle de métal envahie par le carbone est proportionnelle à la durée du chauffage.

Quand, la durée du chauffage restant constante, on opère à diverses températures, la saturation du métal en *carbone* est proportionnelle à la température de la réaction, mais ne dépasse pas (Karsten, § 178) 1,75 pour 100. Cependant, si on élève la température assez pour mettre l'*acier* en fusion, il peut prendre jusqu'à 2,3 et 3 pour 100 (Karsten, § 178 et 318) de carbone, sans cesser de se comporter comme acier après refroidissement; mais, si la réaction continue, le métal continue à se saturer de carbone proportionnellement à la température. Il porte alors le nom de *fonte* et peut contenir (Karsten, § 177) jusqu'à 5,25 pour 100 de ce métalloïde; mais ce chiffre n'est, bien certainement, qu'un maximum relatif et non absolu de saturation, en ce sens qu'il s'obtient dans les hauts fourneaux marchant en fonte grise, c'est-à-dire à allure très-chaude et correspondant au maximum de température que l'homme peut industriellement produire.

Nous avons dit que le fer pouvait contenir jusqu'à 3 pour 100 de carbone sans cesser d'être acier; il convient que nous définissions les caractères qui distinguent ce composé de la fonte. Si, par sa cémentation dans le charbon de bois, le fer solide pouvait absorber jusqu'à 3 pour 100 de carbone, nous définirions ainsi les composés que forment entre eux ces deux corps, savoir :

L'*acier*, le métal saturé solide;

La *fonte*, le métal saturé liquide.

Mais Karsten prétend que la cémentation du fer solide ne parvient jamais à le saturer de plus de 1.75 pour 100 de carbone; il faut donc absolument recourir à une autre définition.

Nous dirons alors que le composé de fer et de carbone est

*Acier*, quand, pris liquide et refroidi lentement, il ne dépose pas de graphite;

*Fonte*, quand, pris liquide et refroidi lentement, il dépose du graphite.

Cette définition, exacte quand le composé ne contient que du fer et du carbone, cesse de

Digitized by Google

l'être quand le composé contient du *soufre* ou toute autre substance poussant la fonte à *blanchir* en se solidifiant, auquel cas cette dernière ne dépose pas de graphite et peut être considérée comme acier. Il faut alors, pour reconnaître la nature exacte du composé, le recuire pendant quarante-huit heures au rouge clair, sans le mettre en fusion. Au bout de ce temps, ses caractères deviennent les mêmes que ceux du composé pris pur et liquide, spécifié plus haut.

Il résulte de ce que nous venons de dire que le fer, infusible quand il est pur, devient fusible quand il contient du carbone. La conséquence logique de ce fait est que le métal est alors d'autant plus fusible, qu'il contient plus de carbone allié. Or, comme il absorbe d'autant plus de carbone que la température à laquelle on le chauffe, en contact avec ce métalloïde, est plus élevée, la solidification du composé liquide doit avoir lieu à une température d'autant plus basse, que la saturation a eu lieu à une température plus élevée.

Or, le fer, cémenté liquide, se comporte comme le fer cémenté solide, et se sature d'autant plus de carbone que la température de la cémentation est plus élevée. Si donc la fonte est un composé de fer et carbone contenant plus de carbone que l'acier n'en comporte, le dépôt de graphite, au moment de la solidification par refroidissement lent, doit être d'autant plus abondant, que cette solidification a lieu à une plus basse température. Nous en concluons que la *fonte grise* est un mélange de graphite d'autant plus abondant, et d'acier d'autant moins saturé, que sa solidification a lieu à une plus basse température, c'est-à-dire que la teneur totale en carbone est plus considérable. C'est, en effet, ce qu'a constaté Karsten dans son § 320.

Nous en concluons encore que, si la teneur en carbone totale pouvait augmenter, c'est-à-dire si on pouvait cémenter le fer liquide à une température beaucoup plus élevée que celle à laquelle a lieu sa cémentation dans les hauts fourneaux marchant en fonte grise, on arriverait à faire solidifier cette dernière à une température tellement basse, qu'elle ne serait plus qu'un mélange de fer et de graphite, c'est-à-dire un composé presque malléable. De ce que la solidification de la fonte liquide a lieu à une température d'autant plus basse qu'elle est plus saturée de carbone, faut-il en conclure que la température de fusion de la fonte solide suit la même loi?

Oui, si la solidification n'a pas eu pour résultat de faire déposer du graphite;

Non, si la solidification a eu pour résultat de faire déposer du graphite.

C'est pour cela que la fonte *blanche* (Karsten, § 140) est plus fusible que la fonte grise. Nous ajouterons que non-seulement la fonte blanche doit être plus fusible que la fonte grise, mais encore la fonte grise doit se *liquéfier* à une température d'autant plus *élevée* que celle à laquelle elle se *solidifie* est plus *basse*.

Dans tous les faits que nous venons de relater, nous avons évité de faire intervenir la *nature du composé*. Or, comme après les avoir déduits logiquement de la cémentation, nous sommes d'accord avec *Karsten*, qui les a déduits de l'analyse, si nous ne sommes pas d'accord avec ce célèbre métallurgiste sur la nature du composé, on ne pourra pas dire que cela provient de ce que nos observations sont fausses; on n'aura le droit d'accuser que nos interprétations. Voyons donc en quoi nos interprétations diffèrent de celles de *Karsten*.

Selon Karsten (§ 177), le fer saturé liquide est une *combinaison* contenant deux atomes de fer et un atome de carbone. Si, quand on le refroidit lentement, il dépose du graphite, c'est que la combinaison s'est décomposée. Nous, nous prétendons que le fer saturé liquide



Digitized by Google

est une *simple dissolution* du carbone dans le métal, et que si, quand on le refroidit lentement, il dépose du graphite, c'est qu'il n'en peut dissoudre solide autant qu'il en peut dissoudre liquide. Or les faits ci dessus relatés confirment notre manière de voir, en ce sens que la proportion du graphite déposé varie suivant la température à laquelle a lieu la solidification. Certainement on peut nous objecter que la saturation étant, comme nous le disons, proportionnelle à la température, il devrait y avoir dépôt de graphite à tout instant pendant le refroidissement, car cela a lieu pour l'eau tenant un sel en dissolution. Cela n'ayant pas lieu pour le fer tenant le carbone en dissolution, faut-il en conclure qu'il y a combinaison? Nous objecterons alors que ce qui se passe quand le dissolvant est liquide peut ne pas se passer quand le dissolvant est solide. En outre, s'il y a combinaison, non-seulement le dépôt de graphite doit être constant, ou du moins laisser une quantité constante de carbone combiné au métal, mais encore la saturation, pendant la cémentation, doit s'effectuer par proportions fixes et non croitre avec la température.

### § 1er. Trempe de l'acier.

Quand le composé de fer et carbone est *acier*, c'est-à-dire dépourvu de graphite après liquéfaction et refroidissement lent, ses caractères ne diffèrent de ceux du métal qu'en ce que, à froid, il est plus dur et plus aigre, à texture d'autant moins fibreuse ou d'autant plus grenue, et à fibres d'autant plus ternes ou à grains d'autant plus blancs et mats que le métal est plus saturé de carbone.

En outre, par la raison que l'état d'alliage rend le métal fusible à des températures accessibles, ce dernier est d'autant moins réfractaire au feu et d'autant plus tendre à l'étirage à chaud, qu'il est plus riche en carbone.

L'acier, chauffé au rouge-cerise et plongé dans l'eau fraîche ou tout autre corps bon conducteur de calorique, prend une dureté d'autant plus grande qu'il est plus saturé de carbone. Ce phénomène, dont on tire un grand parti dans les arts, est inexplicable tant que l'on considère le fer et le carbone comme susceptibles de former entre eux des combinaisons; mais, dès qu'on admet, avec nous, qu'ils ne peuvent que se dissoudre, il suffit de se rappeler ce que nous avons dit concernant l'état physique solide des corps, pour en donner la théorie complète.

En effet, du moment où le carbone solide, soit à l'état de diamant, soit à l'état de charbon de bois, de graphite, de noir de fumée, etc., en contact avec le métal, s'y dissout dès que la température a dépassé le rouge-cerise, le métal restant solide, il faut admettre que le carbone a acquis la mobilité atomique nécessaire, et a passé soit à l'état *liquide*, soit à l'état *gazeux*. Il nous répugne d'admettre qu'un corps aussi réfractaire que le carbone devienne subitement gazeux en contact avec le fer; en outre, comme ce corps est incontestablement liquide dans l'acier en fusion, il est évident que c'est liquide seulement que le carbone circule dans le fer, et s'y dissout pendant la cémentation.

Or la cémentation commence au rouge-cerise; lors donc qu'on chauffe de l'acier à cette température, tout le carbone en dissolution dans le métal entre en fusion, et, si à ce moment on plonge le métal dans un milieu froid suffisamment bon conducteur du calorique, le car-

Digitized by Google

bone cristallise d'autant plus intégralement (page 4), de la surface au centre, que l'exaltation de son pouvoir émissif est plus grande.

Si, au contraire, on place la barre dans un milieu où le refroidissement est lent, le carbone passe d'autant plus intégralement à l'état amorphe, que l'anéantissement de son pouvoir émissif a été plus complet.

Il résulte de là que l'acier *doux*, c'est-à-dire chauffé au rouge et refroidi lentement, est une dissolution de carbone amorphe dans le métal soit mou, soit cristallisé (page 2), suivant le temps qu'a duré le chauffage; l'acier trempé, au contraire, est une dissolution de carbone cristallisé dans le fer mou.

On conçoit, d'après cela, pourquoi la trempe ne pénètre jamais à une grande profondeur dans le métal, et n'est énergique qu'autant que le refroidissement a été prompt.

On utilise dans les arts cette faculté qu'a le carbone de cristalliser plus ou moins intégralement, suivant la promptitude avec laquelle le refroidissement a lieu, en composant le milieu, dans lequel s'effectue la trempe, de diverses substances plus ou moins conductrices du calorique, ce qui permet de donner aux objets fabriqués en acier divers degrés de trempe. Parmi ces substances, on distingue :

1° Le *mercure*, qui produit la trempe la plus énergique;
2° L'eau froide acidulée, qui agit un peu moins énergiquement;
3° L'eau fraîche pure;
4° L'eau tiède;
5° L'eau tenant du savon en dissolution;
6° L'huile;
7° L'air.

L'énergie de la trempe varie non-seulement suivant le milieu dans lequel elle s'effectue, mais encore suivant les dimensions de la pièce trempée. Ainsi, de l'acier à limes, c'est-à-dire fortement saturé de carbone, chauffé au rouge-cerise et laminé en tôle fine, se laisse couper à la cisaille tant que la tôle est rouge. Dès qu'elle noircit, si on la présente à la cisaille, elle casse et accuse tous les caractères de l'acier trempé.

La trempe dans l'air, même chaud, suffit donc, dans ce cas, pour opérer la cristallisation du carbone; mais la trempe dans l'air n'est pas, dans le cas présent, le seul agent qui opère le phénomène; il faut encore tenir compte de l'écrouissage donné au métal par le laminoir. En effet, si au lieu de laisser refroidir lentement la feuille de tôle ainsi préparée, on la remet dans le four, puis, quand elle est rouge, la laisse refroidir tranquillement à côté, elle ne trempe plus, il faut la porter dans un courant d'air humide et froid pour qu'elle accuse les propriétés de l'acier trempé.

La trempe dans l'huile, qui est une des plus faibles, n'a pas le plus souvent pour effet de faire cristalliser le carbone, mais elle a toujours pour effet de rendre au métal une partie du carbone qu'il a perdu pendant son chauffage au contact de l'air; sous ce rapport, elle est fort bonne à pratiquer conjointement avec la trempe dans l'un des autres milieux sus-mentionnés.

### RECUIT.

Quand on chauffe l'acier trempé, on remarque que, si, au fur et à mesure que la tempéra-

Digitized by Google

ture s'élève, on le refroidit subitement en le plongeant dans l'eau fraîche, son aigreur diminue insensiblement, à la condition que la température n'atteindra pas le rouge-cerise, car, dans ce cas, il subit une nouvelle trempe durcissante.

Ce phénomène provient de ce que le carbone cristallisé, comme tous les corps affectant l'état cristallin, se ramollit sous l'influence de la température, et passe partiellement à l'état amorphe; c'est un cas particulier de l'expérience de M. *Jacquelain* (page 2).

On utilise aussi cette propriété dans les arts, et la préfère à l'emploi de milieux variés, en ce sens qu'elle permet, tout en trempant dans le même milieu, de donner à l'acier les différents degrés de dureté que lui donneraient les milieux moins énergiques que celui dans lequel on opère. Le milieu adopté dans ce cas est l'*eau fraîche*, qu'il est facile de se procurer instantanément quand on a un puits à sa disposition.

Pour apprécier les températures du recuit correspondant aux divers degrés de dureté que l'on veut obtenir, on fait usage des colorations dont se recouvre le métal décapé quand on le chauffe. Ainsi une *filière* se recuit au *jaune;* un *taraud*, à l'*orangé;* un burin, au *violet-bleu* dit gorge-de-pigeon; un ressort de montre, au *bleu*.

Quand on ne peut reconnaître facilement et promptement la couleur du recuit, comme dans la fabrication des ressorts pour chemins de fer par exemple, on a recours au contact du *bois sec*. Le bois sec, frotté contre le fer chaud, est *fumant*, *étincelant* ou *flambant*, suivant la température à laquelle se trouve le métal recuit. Le bois fumant correspond à peu près au *jaune*, le bois étincelant au violet-bleu dit gorge-de-pigeon, et le flambant au *vert*.

### § 2. Trempe de la fonte.

Quand le composé de fer et carbone est *fonte*, c'est-à-dire mélange de graphite et d'acier, après liquéfaction et refroidissement lent, ses caractères diffèrent complétement de ceux du métal pur; quoique tenace, il n'accuse pas de nerf à la casse; nous devons dire cependant que nous avons eu entre les mains de la fonte de Suède qui se déchirait plutôt qu'elle ne se cassait; il est vrai que cette fonte, très-riche en graphite, était un peu de la catégorie de celles où le métal n'est plus que du fer pur (page 17); sa cassure est à grains d'autant plus foncés en couleur, que la proportion de graphite y est plus abondante.

Chauffée au rouge-cerise et plongée dans l'eau fraîche, la *fonte grise* durcit comme l'acier trempé; cela provient de ce que, étant un mélange de graphite et d'acier, ce dernier composé prend la trempe comme s'il était pur. Outre qu'elle durcit, la fonte grise, trempée, prend une texture moins foncée que celle qu'elle avait auparavant, sans doute parce que son composant, l'acier, est passé lui-même du gris-bleu au blanc brillant.

Liquéfiée et versée soit dans une *lingotière chaude* peu épaisse, soit dans un moule en *sable vert*, soit dans un moule en sable d'étuve, la fonte fortement saturée de carbone est toujours grise en se solidifiant; seulement, sa texture varie considérablement, suivant que le refroidissement, après solidification, a été prompt ou lent.

Quand le refroidissement a été prompt, le fer a passé à l'état mou, et alors la fonte grise est un mélange intime d'acier mou et de graphite réduits en poudre impalpable. La cassure est grenue, mais aussi fine que celle de l'acier trempé; de plus, la fonte est douce et pres-

Digitized by Google

que malléable; elle convient principalement pour la confection des pièces comportant beaucoup d'ajustage, et surtout un beau poli.

Quand, au contraire, le refroidissement a été lent, le fer a cristallisé, et alors la fonte grise est un mélange d'acier cristallisé et de graphite. Plus le refroidissement a été lent, plus les cristaux d'acier sont gros, et plus la ligne de démarcation entre eux et le graphite intercalé est prononcée. Cette fonte est alors cassante, ou du moins beaucoup moins tenace que la précédente.

Quel que soit celui des trois moules spécifiés ci-dessus que l'on emploie, il est rare, quand on coule une pièce de fonte d'une certaine épaisseur, qu'elle ne présente pas à sa superficie la texture correspondant au refroidissement prompt, et au centre la texture correspondant au refroidissement lent. Nous déduisons de là que, au point de vue de la résistance des matériaux, il convient de ne pas donner aux pièces de fonte de fortes épaisseurs, si on veut qu'elle se rapproche de la fonte douce, même coulée en sable d'étuve.

Nous avons vu (page 17) que les fontes liquides très-saturées de carbone, refroidies lentement, donnent des fontes grises très-riches en graphite et à métal peu aciéré, tandis que les fontes liquides peu saturées de carbone, refroidies lentement, donnent des fontes grises peu graphiteuses, il est vrai, mais à métal très-aciéré. Il est évident que ces deux espèces de fonte ne conviennent pas pour les mêmes usages, et que leurs résistances ne doivent pas être les mêmes dans tous les cas.

Ce fait explique pourquoi tant d'essais ont été faits sur les résistances des fontes considérées comme matériaux de construction, et pourquoi les auteurs ont obtenu tant de résultats différents. La teneur en carbone, loin d'être un accessoire dans ces essais, aurait dû en être la base.

Ainsi, la résistance de la fonte, comme pièce de mécanique, ne varie pas seulement suivant le moule dans lequel elle a été coulée et la promptitude avec laquelle elle a été refroidie, mais encore suivant sa teneur en carbone, qui fait d'elle tantôt presque de l'acier fondu très-dur, tantôt presque un mélange de fer et de graphite.

Revenons à notre sujet:

Quand on coule la fonte liquide dans une lingotière métallique, froide, ayant une épaisseur d'autant plus grande que la fonte est plus saturée de carbone et occupe un plus grand volume, le carbone en dissolution cristallise avant que le métal se soit solidifié, et reste alors à l'état de dissolution formée dans le métal solidifié. On obtient alors la *fonte blanche*, ou dissolution de carbone cristallisé dans le fer liquide, avant solidification.

La cristallisation du carbone, qui rend tout à fait blanche la texture grisâtre de l'acier doux trempé, et grisâtre la texture foncée de la fonte grise trempée également, communique à la fonte solide une texture blanche et nacrée, quand elle a lieu sur la totalité du carbone en dissolution dans le métal liquide; en outre, elle lui communique une dureté d'autant plus supérieure à celle de l'acier trempé, que la proportion du carbone qu'elle renferme est plus considérable. Aussi peut-on dire, sans exagération, qu'il y a entre la fonte blanche et la fonte grise la même différence qu'entre le diamant et le graphite.

Malgré cette différence, il suffit d'une température rouge clair un peu prolongée, pour convertir la fonte blanche en fonte grise et douce, c'est-à-dire à grains fins et un peu malléable.

Digitized by Google

Quoique le résultat ne soit pas le même, la fonte blanche se comporte, dans cette circonstance, comme l'acier trempé et recuit au rouge-cerise.

En effet, si on chauffe au rouge-cerise de l'acier trempé, le carbone se liquéfie, et, si on le laisse refroidir lentement, on obtient de l'acier doux; si, au contraire, on le trempe dans l'eau fraiche, on obtient de nouveau de l'acier trempé.

Quand on chauffe au rouge clair la fonte blanche, le carbone cristallisé se liquéfie aussi; mais le fer qui est solide dépose immédiatement, à l'état de graphite, la proportion de carbone qu'il ne peut dissoudre, et, si on refroidit lentement, on obtient de la fonte grise douce, tandis que, si, au contraire, on trempe, on obtient non de la fonte blanche, comme on avait réobtenu précédemment de l'acier trempé, mais simplement de la fonte grise trempée.

L'acier trempé et la fonte blanche sont donc réellement, comme le suppose *Karsten*, deux composés identiques qui ne diffèrent entre eux que par la teneur en carbone; mais, dès qu'on fait disparaître la cristallisation du carbone, ils constituent immédiatement deux autres composés. S'il suffit de tremper l'acier doux pour le rétablir dans son premier état, il faut fondre et tremper la fonte blanche recuite pour la rétablir dans le sien.

### DU RECUIT DE LA FONTE.

On donne le nom de recuit, quand il est question de fonte, à une opération qui a pour but de rendre ce métal plus malléable et consiste à le cémenter, pendant un temps plus ou moins long, à la température rouge-cerise, soit dans des corps inertes, soit dans des oxydes métalliques. Tous les auteurs qui ont écrit sur cette opération, et notamment *Karsten* (§§ 153 et 154), considèrent la douceur, qu'acquiert alors le métal, comme une propriété particulière qui s'obtient plus ou moins facilement, suivant la nature du cément employé et celle de la fonte cémentée. Nous allons essayer de démontrer, après avoir cémenté plus de 40,000 kilog. de fonte pour la convertir en acier, que le recuit de la fonte n'a d'autre effet que de la décarburer quand elle est grise et, outre cela, de la rendre grise quand elle est blanche.

Supposons, d'abord, des plaques de fonte grise de 10 à 12 millimètres d'épaisseur, entourées soit d'*oxyde de fer*, soit d'*oxyde de zinc*, ou de tout autre corps décarburant réduit en poudre, et placées dans une caisse hermétiquement fermée sur toutes ses faces, mais ayant son couvercle percé d'un petit trou pour le dégagement des gaz produits: supposons que le cément est de l'oxyde de fer.

Quand la température du vase atteint le rouge-cerise, l'oxygène de l'oxyde, en contact avec le métal, réagit sur le carbone de l'acier et le graphite en contact; il se forme de l'oxyde de carbone qui se dégage, et l'acier, ainsi attaqué, devient fer sur une épaisseur très-minime que nous appellerons la première couche du métal.

Mais cette première couche est en contact avec une seconde composée d'acier et de graphite; elle ne tarde donc pas à lui emprunter la proportion de carbone qui lui est nécessaire pour redevenir acier, et diminue d'autant la proportion de carbone non dissous, c'est-à-dire de graphite, que cette couche contenait. L'oxygène de l'oxyde, réagissant immédiatement sur elle, lui enlève cette nouvelle proportion de carbone qu'elle a dissous, et la ramène à l'état de fer. Elle en emprunte une nouvelle dose à la deuxième couche qui, si elle n'a plus de graphite, en emprunte à la troisième, et ainsi de suite, de telle sorte que, au bout de quelque temps de réac-

Digitized by Google

tion, si on tire une éprouvette et la casse, on constate que, sur une épaisseur de 1 à 2 millimètres, suivant le temps écoulé, la fonte grise de la surface ne contient plus de graphite et se compose exclusivement d'acier.

Si on continue à chauffer en élevant petit à petit la température pour faciliter la réaction, l'oxygène de l'oxyde non réduit et le graphite de la fonte continuent à réagir l'un sur l'autre par l'intermédiaire des métaux en contact, qui dissolvent le graphite et le transportent de proche en proche jusqu'à l'oxygène fixe de la combinaison.

Si, au moment où les dernières parcelles de graphite disparaissent, on arrête l'opération, laisse refroidir et examine les résultats de la réaction, on constate que :

D'une part, toute la fonte grise a été convertie en acier, d'autant plus saturé de carbone que la température de la réaction a été plus élevée;

D'autre part, toute la portion d'oxyde qui a été réduite à l'état métallique a été également convertie en acier spongieux.

Ce qui est le plus remarquable, c'est que, si, vers la fin de l'opération, la température a été assez élevée pour mettre en fusion la fonte non encore dégraphitée, la barre d'acier que l'on retire se trouve convertie en un véritable fourreau. En la frappant sur-le-champ, elle s'ouvre, comme l'indique la fig. 1 ci-contre, et accuse une fente intérieure d'une entière blan-

Fig. 1.

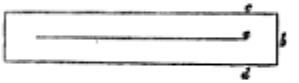



Fig. 2.

cheur. Cette fente (fig. 2) est telle, que les distances $a\,b$, $a\,c$, $a\,d$ sont égales entre elles; en d'autres termes, quelle que soit la forme de la barre, cette fente est le lieu géométrique de tous les points intérieurs situés à une distance de la surface égale à la moitié de l'épaisseur de la barre.

Nous n'insistons pas sur ce fait, parce qu'il nous forcerait à entrer dans des considérations, trop éloignées de notre sujet, sur l'influence évidente qu'a l'électricité dans les réactions chimiques.

Si, au lieu d'oxyde de fer, on emploie l'oxyde de zinc, la réaction est la même; seulement, comme le zinc est volatil à la température de la réaction, il se volatilise, s'échappe du vase par le passage réservé à l'oxyde de carbone et s'y brûle en formant les champignons si connus et si curieux que produit ce métal.

Si on emploie de l'oxyde de cuivre, ce métal réduit, moins volatil que le zinc, se dissout en grande partie dans l'acier produit et le colore en rouge.

Bien que les faits que nous venons de relater soient vrais, quand on emploie un vase réellement clos et un oxyde préalablement calciné, c'est-à-dire ne contenant pas d'eau, nous devons ajouter qu'il est tellement difficile de réussir avec la fonte grise, que ce n'est pas elle qu'il faut prendre pour faire l'expérience, mais la fonte blanche, dont le résultat final est le même. Nous allons expliquer pourquoi :

Digitized by Google

La fonte grise, par le fait même qu'elle est un mélange, est un corps que l'on peut appeler véritablement spongieux. Si on la chauffe au rouge en présence de la vapeur d'eau, de l'acide carbonique libre et, en général, de corps gazeux même liquides, elle s'en remplit comme une éponge se remplit d'eau. Il résulte de là que, quand on croit opérer une réaction superficielle, on opère une réaction intégrale dont les résultats sont tout différents.

La fonte blanche, au contraire, et l'acier même mou, ne se comportent pas de même; les gaz n'ont la faculté de les pénétrer qu'en s'y dissolvant et en attaquant le carbone quand ils sont susceptibles de se combiner à lui.

Si donc, au lieu de fonte grise, on met de la fonte blanche en contact avec les oxydes métalliques,

1° L'eau et les gaz qui peuvent se rencontrer dans le vase clos sont évaporés avant que la réaction ait commencé;

2° Une couche suffisamment épaisse d'acier ou, mieux, de fer se forme à la surface quand l'intérieur commence à se convertir en fonte grise.

Il résulte de là que, quelque peu hermétiquement fermé que soit l'appareil dans lequel on opère, quelle que soit la nature des réactifs employés, leur action est seulement superficielle, et le résultat est le même que si on avait opéré, en vase clos et au moyen d'oxydes calcinés, avec la fonte grise.

De cette manière, au lieu d'employer des vases théoriquement clos, on emploie des caisses à cémenter ordinaires, en briques réfractaires; au lieu d'oxydes calcinés, on emploie des oxydes quelconques et des carbonates.

L'acide carbonique du carbonate de chaux agit tout aussi bien pour la décarburation de la fonte que les oxydes métalliques; il se convertit en oxyde de carbone; seulement, dès que son dégagement a cessé, la réaction cesse aussi; c'est pourquoi on ne peut l'employer que pour expérience.

On peut demander pourquoi une industrie si simple, si avantageuse en apparence n'a pas eu plus de succès qu'elle n'en a. La réponse est bien simple.

La fonte, quelque pure qu'elle soit, comme l'acier, se dilate au moment de la trempe; la cristallisation du carbone augmente son volume : il en résulte que, quand on la coule dans des lingotières en plaques minces, elle forme des cavernes intérieures d'autant plus considérables qu'elle est moins pure.

Si on emploie des fontes sulfureuses, qui, comme nous le verrons plus loin, font cristalliser le carbone sans trempe énergique, on peut couler en sable, il est vrai, et avoir des pièces néanmoins blanches, mais les cavernes sont encore plus abondantes.

On voit, par ce peu de mots, qu'il est à peu près impossible de résoudre industriellement et avec succès le problème de la *fonte* dite *malléable*. Il faut employer la fonte grise, les oxydes purs et calcinés, le vase clos théoriquement sur cinq faces et percé d'un trou à la face supérieure. La fonte alors se moule en sable et s'obtient saine, les oxydes ne fondent pas et ne dégagent ni eau ni acide carbonique pour attaquer la fonte intérieurement et la convertir en fer, l'air n'entre pas et ne convertit pas la fonte en fer brûlé.

Mais où trouver des vases du genre de celui qu'il faut qui ne fondent pas au feu et ne se cassent pas au défournement?

Digitized by Google

Nous avons fait en vain, pendant deux ans, des essais et nous n'avons pu obtenir de satisfaction.

Si on emploie la fonte coulée en lingotières debout et en remonte, on obtient des plaques blanches très-propres et très-faciles à décarburer, mais l'intérieur n'est pas suffisamment plein.

Si on emploie la fonte suffisamment sulfureuse pour tremper dans les moules en sable, elle est tellement caverneuse, que les aciers obtenus ne sont réellement bons que comme objets d'art, conservant indéfiniment la forme du moule, mais non pour être travaillés.

En outre, les fontes du commerce ne sont pas pures, et alors l'acier qui résulte de cette opération est de mauvaise qualité, par cette raison qu'il contient encore toutes les substances que l'affinage ordinaire enlève à la fonte.

Nous nous sommes étendu un peu longuement sur la cémentation de la fonte dans les oxydes métalliques, parce que c'est un sujet assez intéressant et sur lequel nous ne reviendrons qu'accidentellement dans le cours de cet ouvrage. Il y aurait bien encore quelques particularités à y signaler, mais elles conviennent mieux à un ouvrage de chimie qu'à un ouvrage de métallurgie, et nous n'en parlerons pas.

Nous venons de démontrer, autant qu'il nous a été possible de le faire, que les composés connus sous le nom de *carbures* de *fer* sont de simples dissolutions de carbone dans le métal saturé, tantôt solide, tantôt liquide.

Nous avons indiqué le moyen d'obtenir ces composés par la voie sèche, en mettant directement en contact le fer et le charbon de bois.

Nous allons maintenant faire connaître en quelques mots le moyen de les obtenir par la voie humide et même par la voie gazeuse, s'il est permis d'employer cette expression.

On prétend que les Indiens préparent l'acier *wootz*, qui est le plus dur et le plus tenace que nous connaissions, en plongeant dans des tourbières des barres de fer de qualité tout à fait supérieure. Ce résultat nous paraît très-probable si les tourbières ne contiennent, en fait de détritus de plantes, que des combinaisons et dissolutions d'*oxygène*, *hydrogène*, *azote* et *carbone*.

Le carbone, à l'état de dissolution dans une liqueur organique, doit se comporter, en présence du fer, comme quand il subit l'action d'une haute température; seulement la réaction doit être plus lente, la porosité atonique du métal étant moindre. En effet, le carbone affecte là l'état physique qui lui est nécessaire pour pénétrer dans le métal, et il faut croire que, puisqu'il y pénètre sous l'influence de la température, il y a, dans les deux cas, une même force attractive qui l'y pousse.

Un ingénieur distingué, M. *Limet*, fabricant de limes à Paris, nous a fait voir des fers qu'il avait aciérés en quelques heures et assez profondément en les chauffant au rouge dans un vase clos avec de l'essence de térébenthine. Cette opération, qu'on pourrait appeler *cémentation à haute pression*, a pour effet d'introduire le carbone dans le fer à l'état de vapeur. C'est pour cela, sans doute, qu'elle agit si promptement.

On obtient des résultats analogues, mais moins complets, en trempant du fer rouge dans de l'huile de poisson, de la résine et, en général, dans des matières grasses ou résineuses.

Comme dans ces opérations il y a nécessairement décomposition de matières liquides par



Digitized by Google

la température du métal plongé, on peut les considérer comme des cémentations par l'hydrogène carboné. C'est un des motifs qui nous font supposer que le carbone est plutôt à l'état de dissolution qu'à l'état de combinaison dans ce gaz.

Ce qu'on doit conclure de ceci, c'est que plus le carbone est divisé, plus il s'allie facilement au fer pour le constituer à l'état d'acier ou de fonte.

En résumé, nous concluons, de tout ce que nous venons de dire, que :

1° Les carbures de fer, dits fontes ou aciers, ne sont ni ne contiennent des combinaisons de fer et carbone; ce sont de simples dissolutions du carbone dans le fer saturé, tantôt *solide*, tantôt *liquide;*

2° L'acier *doux* est une dissolution de carbone *mou* dans le fer, tantôt cristallisé, tantôt mou;

3° L'acier *trempé* et la fonte *blanche* sont des dissolutions de carbone cristallisé dans le fer *mou;*

4° La fonte *grise* douce est un mélange de graphite et d'acier doux;

5° La fonte grise trempée est un mélange de graphite et d'acier trempé.

---

## CHAPITRE II.

### DES COMPOSÉS BINAIRES QUE FORMENT ENTRE EUX LE FER ET L'OXYGÈNE.

Le fer et l'oxygène forment entre eux quatre composés, savoir :

Une dissolution et trois combinaisons, dont une douteuse.

La *dissolution*, qui, dans les forges, porte le nom de *fer brûlé*, est un composé qui, comme l'acier, ressemble fort au fer, superficiellement.

Le *protoxyde de fer* est une combinaison, invisible à l'œil nu, qui ne manifeste sa présence que dans les sels qu'elle forme avec les acides.

Le *deutoxyde de fer*, connu dans les forges sous le nom de battitures, est une combinaison à tant de degrés d'oxydation, qu'il nous est impossible de la considérer comme une simple combinaison.

Le *sesquioxyde* ou *peroxyde de fer* est une combinaison dans toute la force du mot.

#### § 1er. Des fers brûlés.

On nomme *fer brûlé* un fer qui, quoique moins réfractaire que le fer pur, supporte néanmoins assez bien le *soudage* et l'*étirage* à haute température et affecte, froid, l'aspect extérieur du métal.

Il en diffère cependant considérablement, car, si, après l'avoir étiré en rond de 18 à 30 millimètres de diamètre, on le laisse tomber, d'une hauteur d'un mètre, sur le pavé, il se brise en plusieurs morceaux, comme pourrait le faire du verre de même échantillon, et accuse une texture à *grains fins*, *demi-mats* et *blancs*, analogue à celle de l'acier trempé et non recuit.

Digitized by Google

Pour préparer ce fer à volonté et pouvoir ainsi apprécier les caractères distinctifs de cet état du métal, il faut prendre du fer de première qualité et suffisamment divisé pour que, mis en paquet, tout son intérieur soit accessible à l'air. De tous les fers, ceux qui conviennent le mieux pour préparer le fer brûlé sont les déchets de *perles d'acier ;* ce sont des bandes de tôle de fer première qualité, ayant de 10 à 12 centimètres de large, 30 centimètres de long et 1/2 à 3/4 de millimètre d'épaisseur, percées d'un nombre infini de petits trous d'où on a extrait mécaniquement les perles. Ces bandes, mises en paquet carré, chauffées dans un four à souder un peu plus longtemps que ne l'exige un paquet ordinaire de même dimension et étirées au laminoir en plat, rond ou carré, accusent toujours les caractères du fer brûlé ci-dessus spécifiés, si le chauffage a été bien compris par l'ouvrier qui en était chargé.

Comme nous l'avons dit, la texture de ce fer ressemble assez à celle de l'acier trempé et non recuit; mais elle ressemble aussi à celle du fer allié d'étain qui, lui, est aussi cassant que le fer brûlé. Mais il est un moyen de reconnaître le fer brûlé et de faire disparaître la fragilité qui, chez lui, n'est qu'accidentelle, tandis que dans le fer allié d'étain elle est indestructible. Il suffit, pour cela, de le cémenter pendant douze heures dans du charbon de bois, à la température rouge-cerise, ou de le recuire pendant vingt-quatre heures, soit en vase clos, soit dans un bain liquide de laitier; alors, cassé froid, il ne rompt plus, il plie, et, si on le *saigne* légèrement avant de le casser, sa texture accuse le nerf que comporte la qualité du métal qui a servi à le préparer.

Quel est ce fer?

Dans son *Manuel de la métallurgie du fer* (traduction Culmann, 1830, tome I^er^, § 178), Karsten dit :

« Le fer dit brûlé ne m'a jamais donné une trace de carbone. »

Le même auteur dit (§ 155) :

« Il nous est impossible d'indiquer avec certitude la cause de la fragilité que le fer acquiert « lorsque, dans les chaudes et sous la couche d'oxyde, il est exposé longtemps à l'action de « l'air. Serait-ce l'effet d'une légère oxydation? »

Il est bien évident que, d'après la manière dont on se procure, à coup sûr, du fer brûlé, les propriétés caractéristiques de ce métal sont dues à l'action qu'exerce sur lui l'air ou l'un des composants de ce dernier, à haute température; mais il n'est pas possible d'admettre que la fragilité du fer brûlé soit l'effet d'une légère oxydation, car, s'il devient fragile à froid, comme certains fers contenant du phosphore, le métal n'a pas pour cela changé de nature; il est toujours du fer.

Le fait de la reprise de son nerf, plus rapide quand elle a lieu sous l'influence de la cémentation dans le charbon de bois que quand elle a lieu sous l'influence du recuit en vase clos, joint à l'absence du carbone constatée par Karsten, autorise à supposer que la fragilité du fer brûlé est due exclusivement à la solubilité de l'oxygène dans le métal à haute température. Mais la présence de l'azote dans les *fers*, *fontes* et *aciers* du commerce, constatée une première fois par M. *Gaultier de Claubry* et, dans ces derniers temps, par M. *Frémy*, autorise aussi à supposer que la fragilité du fer brûlé peut être due à la solubilité des gaz en général dans le métal à haute température.

Le fer ne serait pas, du reste, le seul métal jouissant de la propriété de dissoudre les gaz à

Digitized by Google

haute température. Sans parler de la *mousse de platine*, qui est un métal poreux, il y a l'*argent*, dont le *rochage*, dans l'opération qui porte le nom de *coupellation*, est dû au dégagement d'oxygène qu'a dissous le métal en fusion à une température supérieure à celle de sa liquéfaction.

Voici comment M. *Cahours* décrit ce phénomène dans ses *Leçons de chimie générale* (1856, tome II, § 870):

« Chauffé au contact de l'air, l'argent ne s'unit à l'oxygène à aucune température; mais, « lorsqu'il est soumis à une chaleur supérieure à celle qui détermine sa fusion, il présente « un curieux phénomène, signalé pour la première fois par M. Samuel Lucas, essayeur de la « Monnaie de Londres, et étudié depuis attentivement par M. Gay-Lussac. Si l'on maintient « en fusion, dans un creuset de Hesse, au contact de l'air, 1 ou 2 kilogrammes d'argent pur, « on observe une absorption rapide d'oxygène : c'est une véritable dissolution de ce gaz dans « l'argent liquide, car il ne se forme, dans cette circonstance, aucune combinaison. On peut « mettre plus facilement en évidence cette absorption d'oxygène en projetant, à la surface du « métal fondu, du salpêtre par petites portions, ce sel maintenant constamment, par sa dé- « composition, une atmosphère d'oxygène dans le creuset. Vient-on maintenant à refroidir « brusquement l'argent en plongeant le creuset qui le contient dans l'eau, l'oxygène se dé- « gage aussitôt avec une effervescence tumultueuse. Gay-Lussac a reconnu que l'argent pou- « vait absorber dans cette expérience jusqu'à vingt-deux fois son volume de gaz oxygène. »

Voici maintenant un fait qui n'est pas relaté dans les traités de chimie et qu'on observe dans le plombage des tôles de fer :

Le plomb ne prend pas aussi facilement sur le fer que l'*étain;* aussi est-il nécessaire de l'allier à une petite proportion de ce métal quand on veut en recouvrir des tôles de fer. Or, supposons un bain de plomb allié d'étain, en proportion convenable pour que le plombage des tôles s'effectue facilement quand on les y plonge; si ce bain est neuf, c'est-à-dire s'il provient de la fusion simultanée d'un grand nombre de lingots, il arrive que, quand on plonge dedans une tôle de fer préalablement décapée, on la retire recouverte d'une couche d'oxyde de fer et nullement de plomb. Il faut, pour que le métal liquide adhère au fer, non-seulement maintenir le bain liquide et surchauffé pendant plusieurs jours, mais encore y plonger des branches de bois vert qui, en se distillant, produisent une ébullition favorable à la remonte de l'oxyde en suspension et des carbures d'hydrogène très-convenables pour la saturation de l'oxygène en dissolution, s'il y en a.

Or c'est précisément sur ce dernier point que nous tenons à appeler l'attention du lecteur. Il s'agit de savoir si le suboxyde de plomb, $Pb^2O$ (Voir Cahours, 1856, t. II, § 798), est réellement une combinaison, ou simplement une dissolution d'oxygène dans la superficie du métal. Disons d'abord que, quel qu'il soit, il faut, pour que le fer se recouvre d'oxyde, quand on le plonge dans un bain de plomb parfaitement fondu, que ce composé soit soluble dans le métal.

Ce qui, pour nous, lui donne toute l'apparence d'une simple dissolution d'oxygène dans la surface du métal en contact, c'est que, préparé par la méthode de M. *Pelouze*, c'est-à-dire isolé, il est décomposé par les acides comme les colorations du recuit dont nous parlerons ci-après et, en outre, par la température, comme les fers brûlés, quand on le recuit, en vase clos, à plus de 400°.

Digitized by Google

Ce qui a lieu pour l'argent et le plomb en fusion peut également avoir lieu pour le fer chauffé au blanc, et il est permis d'en conclure que les fers brûlés ne sont autre chose que des dissolutions, dans le métal, soit de l'oxygène de l'air, soit de l'air lui-même. On comprend alors parfaitement pourquoi *Karsten* n'a jamais rencontré de carbone dans ces fers; mais on ne comprend pas aussi facilement pourquoi, si, selon MM. *Gaultier de Claubry* et *Frémy*, le fer dissout l'azote, il ne dissout pas également l'oxyde de carbone résultant de la réaction de l'oxygène de l'air sur le carbone qu'il tenait en dissolution.

Toujours est-il qu'on peut considérer le fer brûlé comme une simple dissolution de gaz, dans le métal, qui est détruite soit par une légère cémentation dans le charbon de bois, soit par un recuit suffisamment prolongé en vase clos. Or, entre le fer intégralement brûlé, dont nous avons indiqué la préparation, et le fer pur, il y a une foule de nuances qui influent plus ou moins sur la qualité du métal à chaud et à froid. Faut-il en conclure que tous les fers, avant d'être livrés au commerce, doivent subir le recuit en vase clos? Oui, évidemment, si, outre l'oxygène, le fer est susceptible de dissoudre l'azote; non, si le fer ne dissout que l'oxygène.

En effet, si le fer est réellement susceptible de dissoudre l'azote de l'air en contact avec lui dans les fours à souder, il n'existe pas de moyen de le préserver de ce gaz, qui n'entre en combinaison qu'à l'état naissant. Si, au contraire, le métal ne dissout, comme l'argent, que l'oxygène de l'air en contact, un degré suffisant de carburation lui permet de neutraliser sans cesse les résultats fâcheux qui sont la conséquence de son contact forcé avec ce gaz, dans les différentes chaudes que comporte sa fabrication.

En ce qui nous concerne personnellement, il ne nous a été possible de constater que les deux faits suivants, savoir :

1° Pour le fer en barres, la qualité du produit fini est bonne, quand, pris brut, il contient suffisamment de carbone pour neutraliser l'action de l'oxygène pendant les diverses chaudes que nécessite sa fabrication;

2° Pour le fer en tôles fines destinées à la fabrication du fer-blanc brillant, la qualité du produit fini n'est bonne que si le métal a été, après toutes les chaudes à l'air libre, recuit en vase clos.

Ce dernier résultat semble, au premier abord, indiquer la présence incontestable de l'azote et la nécessité du recuit en vase clos. Cependant il peut n'en être rien, parce que les fers destinés à la fabrication du fer-blanc brillant doivent posséder une telle malléabilité, que l'on hésite, dans les forges, à leur laisser du carbone, dont l'un des effets est de raccourcir le nerf du métal. En outre, comme ces fers exigent un soudage parfait, en vue d'éviter les cloches à l'étamage on les chauffe d'autant plus fort au corroyage, qu'ils sont moins tendres à chaud, c'est-à-dire moins saturés de carbone en dissolution.

Il est donc fort probable, d'après ce qui se passe pour le fer en barres, que le recuit, en vase clos, des fers destinés à la fabrication du fer-blanc brillant n'a d'autre but que d'évaporer l'oxygène qu'ils ont nécessairement dissous pendant le corroyage, tant parce qu'ils contiennent peu de carbone que parce qu'il faut les chauffer plus fort que s'ils en contenaient, pour les faire souder.

Beaucoup de métallurgistes pensent que le recuit en vase clos n'a d'autre but, comme le recuit dans des fours, que de détruire l'écrouissage; ils se trompent. En effet, si le recuit en vase clos n'avait d'autre but que de détruire l'écrouissage du métal pour le rendre plus mal-

Digitized by Google

léable, il pourrait s'effectuer dans des fours comme celui des tôles d'acier. Il a, certainement, ce résultat pour but, mais il a encore celui que nous avons indiqué, à savoir : l'évaporation du ou des gaz en dissolution dans le métal.

Ainsi, que le métal ne soit susceptible de dissoudre que l'oxygène et l'azote, le recuit en vase clos est toujours une opération utile, quand elle n'est pas indispensable, parce qu'il n'est, généralement, pas possible de procurer au métal le degré de carburation que comporte la neutralisation de l'oxygène dans les chaudes successives qu'il a à subir, et parce qu'il est des cas où les exigences de la malléabilité ne comportent pas la présence du carbone.

Reste une question à examiner :

Un soudage parfait et une grande malléabilité à froid étant nécessaires,

Convient-il mieux de corroyer, à température convenable, le fer rendu *tendre* par le carbone en dissolution que de corroyer, à une température *extra-suante*, le fer pur et, par conséquent, très-réfractaire ?

Pour nous, il n'y a pas à hésiter un seul instant, c'est de l'acier, toujours de l'acier qu'il faut employer pour fabriquer le fer. Mais, objectera-t-on, vous n'aurez pas la malléabilité voulue. Ceci, à notre avis, est très-contestable; l'acier, bien recuit et refroidi lentement, comme cela a lieu quand on opère en vase clos, est très-malléable ; à plus forte raison, le fer légèrement carburé, comme se trouve le métal provenant d'acier brut, au moment du recuit. Si on n'obtient pas, par ce moyen, une aussi grande malléabilité qu'en employant le fer fortement décarburé, en revanche on n'a à subir ni les pailles ni les cloches qui forcent à vendre, à prix réduit, la moitié, au moins, de la fabrication du fer-blanc. Nous sommes si convaincu que les fers carburés ne sont pas nuisibles pour la fabrication du fer-blanc brillant, que nous voudrions voir employer, pour cette fabrication, l'*acier fondu doux*. Le seul motif qui nous ferait hésiter à en garantir la réussite est non la présence du carbone, mais celle des soufflures insoudables qui se forment dans les lingots au moment de la coulée, et doivent se traduire en cloches à l'étamage.

La faculté qu'a le fer de dissoudre les gaz ou l'oxygène seul, sans former de combinaison, ne se manifeste pas seulement dans les fers brûlés, elle donne aussi lieu à un phénomène connu sous le nom de *coloration du recuit*.

Quand on recuit, au contact de l'air, soit le *fer*, soit l'*acier*, soit la *fonte grise* ou *blanche*, préalablement décapés, la surface du métal, primitivement blanche, prend successivement, avant de s'oxyder, les colorations du spectre solaire, en commençant par le jaune et en finissant par le vert.

D'après *Karsten* (t. I^er^, § 114), ces colorations ont lieu :

Le *jaune paille*, au degré de fusion de l'*étain;*

L'*orangé*, un peu au-dessus;

Le *rouge*, au degré de fusion du *bismuth;*

Le *violet* et l'*indigo*, dit *gorge-de-pigeon*, au degré de fusion du *plomb;*

Le *bleu*, au-dessus;

Le *vert*, un peu avant le degré de fusion du *zinc*.

Nous n'indiquons pas la température, parce que les chiffres donnés par les différents auteurs qui en parlent diffèrent considérablement entre eux, tant parce que les températures

Digitized by Google

sont très-difficiles à constater exactement, quand elles dépassent 200°, que parce que les degrés de fusion des métaux varient suivant leur état de pureté.

En outre, si on continue le chauffage du métal, les colorations se reproduisent dans le même ordre que ci-dessus, seulement moins vives, et disparaissent plus vite.

Un peu avant la chaleur rouge, le métal affecte encore la coloration *indigo* et, si on le retire du feu, il se trouve recouvert d'une légère pellicule.

Ces colorations sont-elles le fait de la dissolution superficielle d'*oxygène*, d'*azote* ou d'air? c'est ce qu'il n'est pas possible de préciser; tout ce qu'on peut dire, c'est que, mises en contact avec un acide, elles disparaissent instantanément.

D'un autre côté, si on les compare à ce qui se passe dans une foule de circonstances, tant de la chimie inorganique que de la chimie organique, on est porté à admettre qu'elles sont dues à l'action exclusive de l'oxygène et sont les indices d'une *saturation* croissante, préliminaire de la *combinaison*.

En effet, elles ont lieu, par la voie humide, dans la préparation du *pourpre de Cassius*, dont l'analyse ne constate la présence que de l'*oxygène*, de l'*or* et de l'*étain*. Elles ont lieu dans la préparation du *minium* par la voie sèche, et l'analyse n'accuse encore que la présence de l'oxygène avec le plomb. Elles ont lieu dans le chauffage de l'oxyde de zinc; seulement elles y sont éphémères, sans doute parce que le zinc ne possède pas de deutoxyde, et *ne peuvent être*, là, le résultat d'une dissolution préliminaire de la combinaison ultérieure.

Le *soufre*, précipité à l'état naturel de certaines combinaisons, est blanc, tandis que, après séjour au contact de l'air, il est jaune et prend une teinte d'autant plus foncée que la température qu'il affecte est plus élevée. On connaît le soufre orangé clair, orangé foncé et même *rouge*.

L'*or*, fondu avec du *nitrate de potasse*, composé oxydant, prend une teinte *jaune orangé*; fondu, au contraire, avec du *borax*, composé désoxydant, il prend une teinte jaune paille.

Exemple : l'or sortant des monnaies de France et l'or sortant des monnaies de l'Angleterre. Sans prétendre que ce sont précisément le nitrate de potasse et le borax qu'on ajoute à l'or en fusion dans ces deux cas, il est positif que les modes de traitement sont différents et agissent comme nous l'avons indiqué plus haut.

Les *fleurs*, qui, écloses au *soleil*, affectent des colorations d'autant plus prononcées que ce dernier agit plus énergiquement dessus, cultivées dans une *cave*, sont blanches. Si leur coloration était due aussi bien à l'azote qu'à l'oxygène en dissolution, ces colorations ne seraient pas impressionnables aux acides et aux alcalis comme elles le sont. Les acides les font marcher du vert au jaune, en passant par les teintes intermédiaires, tandis que les alcalis les font marcher du jaune au vert. Or, s'il n'est pas démontré que les alcalis apportent de l'oxygène aux corps en contact, il est admis que les acides en sont très-avides.

Nous pourrions citer une infinité d'autres exemples où les colorations semblent n'être autre chose que la dissolution, tantôt superficielle, tantôt intégrale de l'oxygène; mais cela nous écarterait trop de notre sujet. Nous citerons seulement, pour en finir, un fait singulier que nous avons lu dans le *Salut public* de Lyon, du 11 novembre 1856, comme extrait du *Moniteur de la Flotte*. Ce fait a pour but de démontrer que l'oxygène en dissolution ne serait pas seulement la cause des *colorations*, mais encore de la *saveur*; voici l'article du *Moniteur de la Flotte* :

Digitized by Google

« On voit, aux environs de *Bolgrad*, une ancienne mine de sel gemme qui offre un phéno-
« mène minéralogique très-curieux : les couches supérieures de la mine ont, seules, été ex-
« ploitées, et les couches inférieures, aujourd'hui abandonnées, présentent des cristaux ayant
« la forme et la couleur du sel ordinaire, mais qui sont complétement dénués de goût. »

Bien évidemment, si ces couches inférieures sont autre chose que du chlorure de sodium, il n'est pas étonnant qu'elles soient dénuées de goût ; mais si, selon toutes les apparences, elles affectent la même composition que les couches supérieures, il faut en conclure que la saveur est due soit à l'oxygène, soit à l'azote, soit à ces deux gaz de dissolution.

On sait déjà que l'eau qui a bouilli, c'est-à-dire subi le recuit en vase clos du fer brûlé, est insipide. On sait, en outre, que l'eau oxygénée, découverte par M. *Thénard* en 1818, a une saveur métallique très-prononcée et produit une salivation abondante (Cahours, t. I^er^, § 69). Que cette eau soit une combinaison, comme les chimistes le prétendent, parce que, depuis la nomenclature de M. Guyton de Morveau, on ne veut plus voir, dans les corps, que des combinaisons, ou qu'elle soit une simple dissolution d'oxygène, il est certain que les différentes saveurs qu'acquiert l'eau, depuis son état pur jusqu'à son état de bioxyde d'hydrogène, sont dues sinon à l'oxygène pur, du moins à l'oxygène et à l'azote dont elle s'est chargée.

En résumé, laissant de côté l'azote, dont l'action ne nous paraît pas démontrée d'une manière suffisamment rigoureuse, il est impossible de ne pas conclure, de tous les faits que nous venons de relater, que :

1° L'oxygène de l'air a, sur tous les corps répandus à la surface du sol, outre son action oxydante et appréciable à l'œil ou à l'analyse, une action dissolvante, très-difficile à apprécier, dont l'énergie est d'autant plus grande que la température est plus élevée ;

2° Le fer est un des métaux qui non-seulement se combinent facilement avec l'oxygène, mais encore le dissolvent d'autant plus facilement que la température est plus élevée ;

3° Toutes les chaudes suantes qu'il faut faire subir au fer, pour l'obtenir en barres ou tôles propres aux usages du commerce, se donnant au contact de l'air, tous les fers du commerce qui ne sont pas suffisamment carburés participent, plus ou moins intégralement, des propriétés caractéristiques des *fers brûlés*.

Le fer fini doit donc ou contenir un restant de carbone en dissolution, ou avoir été, préalablement, recuit en vase clos, avant son entrée au magasin.

### § 2. Des oxydes de fer.

Le *protoxyde*, $Fe\,O$, et le *sesquioxyde*, $Fe^2O^3$, sont les deux seuls qui forment des combinaisons avec les acides, pour constituer les sels du protoxyde et du peroxyde.

Le protoxyde n'existe qu'à l'état naissant ; le peroxyde, au contraire, est un des corps les plus répandus dans la nature, tant à l'état pur qu'à l'état de combinaisons ou dissolutions.

Sous la forme de silicate, d'hydrate ou de peroxyde anhydre, il constitue la majeure partie des minerais employés à la fabrication du fer.

Le *protoxyde* se rencontre, dans la nature, à l'état de carbonate qui, grillé, se convertit en peroxyde anhydre.

Le *deutoxyde*, dit *fer oxydulé*, quand on le rencontre dans la nature, et *battiture*, quand on

Digitized by Google

le produit dans les forges, est un composé qu'on peut représenter assez exactement par la formule $Fe^{3}O^{4}$, mais il nous est impossible de le considérer comme une simple combinaison.

Certains chimistes le considèrent comme un mélange de protoxyde et de peroxyde; d'autres le considèrent, avec plus de raison apparente, comme un ferrate de protoxyde, auquel cas le peroxyde jouerait le rôle d'acide. Enfin quelques autres le considèrent comme un oxyde spécial ayant la composition donnée plus haut.

Nous avons dit (page 6) ce que nous pensons des caractères auxquels on reconnaît la combinaison incontestable; nous n'y reviendrons pas. Que le fer oxydulé, dit aussi oxyde magnétique, soit donc une combinaison, si tout le monde le veut; comme il nous intéresse peu, cela nous est indifférent, et nous allons porter toute notre attention sur l'oxyde des battitures qui joue un rôle important dans la métallurgie du fer.

Deux méthodes d'analyse ont été proposées pour déterminer la nature de ce composé, comme de son analogue, l'oxyde magnétique : l'une, dite de *Mosander*, a pour but de constater la quantité d'oxygène, qui lui manque, pour être du peroxyde; l'autre, dite de *Rose*, a pour but de constater la quantité d'oxygène qu'il contient en plus de celle qui est nécessaire pour qu'il soit du protoxyde. Or il suffit de les énoncer pour démontrer que ces méthodes sont impuissantes à déterminer la nature de ce composé.

Puisque la formule $Fe^{3}O^{4}$ est assez approchante de sa composition, mettons-la sous la

$$3\,(Fe\,O^{\frac{4}{3}})$$

La partie comprise entre parenthèses peut se mettre sous la nouvelle forme :

$$Fe\,O + 1/3\,O$$

En opérant de même pour le peroxyde on trouve :

$$Fe^{2}O^{3} = 2\,(Fe\,O^{\frac{3}{2}})$$

$$Fe\,O^{\frac{3}{2}} = Fe\,O + 1/2\,O$$

Ainsi, pour constituer le deutoxyde de fer, il faut ajouter au protoxyde environ 1/3 atome d'oxygène, tandis que, pour constituer le peroxyde, il faut en ajouter un demi.

Rappelant que le deutoxyde ne forme pas de sels avec les acides et n'a pas une composition parfaitement fixe; observant, en outre, d'après *Mosander*, que, quand on analyse des battitures, on trouve que la proportion d'oxygène contenue dans la surface extérieure est plus grande que celle contenue dans la surface intérieure en contact avec le métal, nous concluons que :

L'oxyde des battitures de fer ne peut être autre chose qu'une dissolution très-saturée d'oxygène dans le protoxyde, préliminaire de la formation du peroxyde.



Digitized by Google

## CHAPITRE III.

### DES COMPOSÉS BINAIRES QUE FORMENT ENTRE EUX LE CARBONE ET L'OXYGÈNE.

Le carbone et l'oxygène forment entre eux deux combinaisons parfaitement définies, savoir :

L'oxyde de carbone, C O
L'acide carbonique, C $O^2$

Ces deux combinaisons sont gazeuses, incolores, et constituent ce qu'on nomme les produits principaux de la combustion des matières organiques.

Pour opérer la combinaison du carbone avec l'oxygène, il suffit de mettre les deux corps en présence à une température rouge sombre. Si l'oxygène est en excès, il se forme de l'acide carbonique ; si, au contraire, le carbone est en excès, il se forme de l'oxyde de carbone.

Un volume d'oxygène donne, en se combinant au carbone, deux volumes d'oxyde de carbone ou un volume d'acide carbonique. La proportion de carbone combiné, étant 1 dans le premier cas, est 1/2 dans le second.

L'oxyde de carbone étant un corps combustible, on peut, à volonté, convertir le carbone en acide carbonique, soit en une seule fois, soit en deux fois.

Quand on brûle 1 kilog. de carbone en vue de produire de l'oxyde de carbone, il développe, en brûlant, 1,386 unités de chaleur ou calories. Si, au contraire, on le brûle en vue de produire de l'acide carbonique, il développe, en brûlant, 7,170 unités de chaleur ou calories.

Quand on brûle la quantité d'oxyde de carbone contenant 1 kilo de carbone et ayant déjà produit, par conséquent, 1,386 unités de chaleur, elle développe, en brûlant, 5,784 unités de chaleur, c'est-à-dire, exactement, la différence qui existe entre 7,170 et 1,386.

Il est donc indifférent, au point de vue de l'utilisation de la puissance calorifique du carbone, de le brûler en une fois pour acide carbonique, ou en deux fois pour oxyde de carbone d'abord, et acide carbonique ensuite.

Pour une même proportion de carbone combiné, 1/2 volume d'oxygène donnant 1 volume d'oxyde de carbone et 1 volume d'oxygène donnant 1 volume d'acide carbonique, nous en concluons que :

*1 volume d'acide carbonique a, pour poids, le poids de 1 volume d'oxyde de carbone augmenté du poids de 1/2 volume d'oxygène ; en d'autres termes, la densité de l'acide carbonique est égale à la densité de l'oxyde de carbone augmentée de la 1/2 densité de l'oxygène.*

Si, partant de là, nous recherchons, dans les ouvrages de chimie, les densités de ces trois corps et cherchons à vérifier leur exactitude d'après ce principe, nous les trouvons en désaccord avec lui. En effet, si nous adoptons, avec M. *Cahours*, les densités suivantes :

| | |
|---|---|
| Oxygène. . . . . | 1.1057 |
| Oxyde de carbone. . . . . | 0.9670 |
| Acide carbonique. . . . . | 1.5290 |

Digitized by Google

Nous trouvons :

$$\frac{1.1057}{2} + 0.967 = 1.51985 \text{ au lieu de } 1.529$$

Si nous les prenons dans *Berzélius*, nous trouvons :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Oxygène, d'après Berzélius et Dulong. . . . . | | | 1.10260 |
| — — Biot. . . . . | | | 1.10359 |
| — — Saussure. . . . . | | | 1.10562 |
| — — Dumas et Boussingault. . . . . | | 1.10550 à | 1.10580 |
| — — Wrede. . . . . | | | 1.10520 |
| Oxyde de carbone, d'après Wrede. . . . . | | | 0.96779 |
| Acide carbonique, d'après Berzélius et Dulong. . . . . | | | 1,5240 |
| — — — Wrede. . . . . | | | 1.5201 |
| — — — Saussure. . . . . | | | 1.5269 |
| — — — Biot. . . . . | | | 1.51961 |

Wrede ayant déterminé les trois densités, prenons ses chiffres, ce qui nous donne :

$$\frac{1.1052}{2} + 0.96779 = 1.52039 \text{ au lieu de } 1.5201$$

Si nous les cherchons dans le traité de la chaleur de *Péclet*, nous trouvons :

| | |
|---|---|
| Oxygène. . . . . | 1.1036 |
| Oxyde de carbone. . . . . | 0.9569 |
| Acide carbonique. . . . . | 1.5240 |

Ce qui nous donne :

$$\frac{1.1036}{2} + 0.9569 = 1.5087 \text{ au lieu de } 1.5240$$

En présence de cette confusion, qu'on nous permette d'adopter les chiffres suivants qui se rapprochent de ceux de Wrede :

| | Densité |
|---|---|
| Oxygène. . . . . | 1.1050 |
| Oxyde de carbone. . . . . | 0.9675 |
| Acide carbonique. . . . . | 1.5200 |

qui donnent :

$$\frac{1.105}{2} + 0.9675 = 1.5200$$

Le poids du mètre cube d'air étant 1^k.299, nous en concluons que :

1° Les poids du mètre cube des trois corps précités sont :

| | | Poids du m. c. |
|---|---|---|
| Oxygène. . . . . | $1.299 \times 1.105 =$ | 1^k.4353950 |
| Oxyde de carbone. . | $0.9675 =$ | 1^k.2567825 |
| Acide carbonique. . | $1.52 =$ | 1^k.9744800 |

Digitized by Google

2° Un mètre cube de chacune des combinaisons contient :

| | Oxygène. | Carbone. |
|---|---|---|
| Oxyde de carbone, | $0^k.7176975$. . . . . | $0^k.5390850$ |
| Acide carbonique, | $1^k.4353950$. . . . . | $0^k.5390850$ |

3° Un kil. de chacune des combinaisons contient :

| | Oxygène. | Carbone. |
|---|---|---|
| Oxyde de carbone, | $0^k.5710$. . . . . | $0^k.4290$ |
| Acide carbonique, | $0^k.7269$. . . . . | $0^k.2731$ |

4° Pour convertir un kilogramme de carbone en oxyde de carbone, il faut dépenser, en oxygène, en *poids* :

$$0.429 : 0.571 :: 1 : X = 1^k.33$$

Et, pour convertir $1^k$ de carbone en acide carbonique, il faut dépenser en oxygène:

$$0.2731 : 0.7269 :: 1 : X = 2^k.66$$

c'est-à-dire le double de ce qu'il en faut pour l'oxyde de carbone.

5° Les quantités, en poids, d'oxygène nécessaires à la combustion de $1^k$ de carbone étant $1^k.33$ et $2^k.66$, ces quantités en *volumes* sont :

$$\text{Pour oxyde de carbone : } \frac{1.33}{1.435395} = \overset{m.c.}{0.9266}$$

$$\text{Pour acide carbonique : } \frac{2.66}{1.435395} = \overset{m.c.}{1.8532}$$

1.435395 étant la densité de l'oxygène.

6° Un mètre cube d'air contenant :

| | m. c. |
|---|---|
| Oxygène, | 0.21 |
| Azote, | 0.79 |

La combustion de 1 kil. de carbone exige, en *volume* d'air :

$$\text{Pour oxyde de carbone. . . } \frac{0.9226}{0.21} = \overset{m.c.}{4.412}$$

$$\text{Pour acide carbonique. . . } \frac{1.8532}{0.21} = \overset{m.c.}{8.824}$$

Que l'on brûle le carbone au moyen de l'oxygène pur ou de l'oxygène de l'air;

Que l'on brûle l'oxyde de carbone pur ou mélangé d'azote, au moyen de l'oxygène pur ou mélangé d'azote aussi, les quantités de chaleur développées par la combustion de 1 kil. de carbone sont toujours : 1386, 5784, 7170 calories, suivant les conditions dans lesquelles s'opère la combustion; mais les températures produites ne sont pas les mêmes, parce que les quantités de gaz à chauffer ne sont pas les mêmes, et que ces gaz emportent tous avec eux une portion notable du calorique produit.

On donne le nom de *combustibles* aux composés végétaux ou minéraux qui contiennent le carbone en assez grande proportion pour pouvoir être employés à la génération du calorique pour le chauffage.

Digitized by Google

On peut diviser les combustibles en

Combustibles secs,

Combustibles crus.

Les premiers sont ceux qui ne contiennent, en fait de matières combustibles, que du carbone, et se convertissent, en brûlant, soit en oxyde de carbone, soit en acide carbonique; tels sont les *anthracites*, les *cokes* et les *charbons* de *tourbes* ou de *bois*.

Les seconds sont ceux qui contiennent du carbone et des matières volatiles donnant, par distillation, de l'hydrogène carboné à divers degrés de saturation, de l'hydrogène sulfuré, etc.; tels sont les *bois*, les *tourbes* et la *houille*.

On peut également considérer deux modes de chauffage, savoir :

Le chauffage direct,

Le chauffage par la flamme.

Le chauffage direct est celui où l'objet à chauffer est en contact avec le combustible ou situé immédiatement au-dessus; tels sont, d'une part, le chauffage des *creusets à fondre les métaux*, d'autre part *les boîtes à feu des chaudières à foyers intérieurs*.

Le chauffage par la flamme est celui que l'on opère par le calorique développé, hors du foyer, pendant la combustion des gaz et matières volatiles combustibles qui s'en échappent; tels sont le chauffage des *fours à réverbère* et des *tubes* (dans les *chaudières tubulaires*).

Or, quand on veut opérer un chauffage direct, il est évident qu'il y a perte à produire de la flamme, c'est-à-dire à distiller des matières volatiles et engendrer des gaz combustibles qui ne brûleront que hors du foyer.

De même, quand on veut opérer un chauffage par la flamme, il est évident qu'il y a perte à opérer dans le foyer la combustion d'une partie des gaz et matières volatiles combustibles. Ce n'est que dans le chauffage mixte, comme celui d'une *chaudière à foyer et tubes intérieurs*, qu'on peut avantageusement opérer une combustion vive dans le foyer et dégager de la flamme.

Faut-il conclure de là que, pour le chauffage *direct*, on ne doit employer que des combustibles *secs*, et pour le chauffage par la *flamme* on ne doit employer que des comestibles *crus*? Oui, si on fait usage de foyers ordinaires; non, si au moyen d'appareils spéciaux on peut réaliser une économie.

La question à examiner est donc la suivante, savoir :

Quelles sont les conditions générales et spéciales de *combustion* auxquelles il faut satisfaire pour opérer économiquement le *chauffage*?

Laissant de côté la question de l'hydrogène plus ou moins carboné que renferment les combustibles *crus*, nous voyons que, pour brûler 1 kil. de carbone, les quantités d'air à injecter dans le foyer sont tantôt 4,412, tantôt 8,824 mètres cubes, suivant que l'on veut produire de l'oxyde de carbone ou de l'acide carbonique. Remarquant seulement que, si on emploie plus de 4,412 ou moins de 8,812 mètres cubes d'air, on obtient un mélange d'oxyde de carbone et d'acide carbonique, tandis que si le contraire a lieu, c'est-à-dire si on emploie moins de 4,412 ou plus de 8,824 mètres cubes d'air, on ne peut obtenir que de l'oxyde de carbone ou de l'acide carbonique, nous concluons que :

Quand la combustion du carbone a pour but la *génération de l'oxyde de carbone*, la quantité d'air à injecter dans le foyer doit être *inférieure* à $4^{mc},412$ par kil. de carbone brûlé.

Digitized by Google

Quand la combustion du carbone a pour but de tirer du combustible son *maximum d'effet utile*, c'est-à-dire produire de l'acide carbonique, la quantité d'air à injecter dans le foyer doit être *supérieure* à $8^{mc},824$.

En d'autres termes, ne pouvant donner les volumes théoriques d'air qui conviennent à la combustion dans les deux cas, il convient de pécher, dans le premier cas, par *insuffisance*, et, dans le second cas, par *excès* d'air injecté.

L'injection de l'air, ayant pour but la combustion, s'effectue au moyen d'une opération qui porte le nom de *tirage*. Nous allons essayer de faire ressortir en quelques mots l'importance du rôle que joue cette opération, sinon pour la combustion, du moins pour le chauffage, notamment dans les fours à réverbère.

On distingue deux espèces de tirages, savoir :

Le tirage par *aspiration* et le tirage par *inspiration*.

Le tirage par *aspiration* consiste à raréfier l'air en *aval* du *foyer*, capacité prismatique dans laquelle s'opère la combustion, dont les parois latérales sont pleines, et dont la paroi inférieure appelée *grille* est à claire-voie.

Le tirage par *inspiration* consiste à condenser l'air en *amont* du foyer.

Dans les deux cas, l'air traverse le combustible en vertu de la différence de pression qui existe entre les deux milieux constituant l'aval et l'amont du foyer.

Quand le tirage par *aspiration* s'effectue au moyen d'un cheminée, il porte le nom de tirage *physique;* quand il s'effectue au moyen d'un *ventilateur*, il porte le nom de tirage *mécanique*.

Le tirage par *inspiration* s'effectue toujours mécaniquement et porte le nom de *vent forcé*.

Que le tirage ait lieu par aspiration ou par inspiration, que la différence des pressions, génératrices de la vitesse d'écoulement de l'air, soit forte ou faible, si la quantité d'air injectée, dans un temps donné, est constante, les résultats théoriques de la combustion, abstraction faite de la température, sont identiques.

Mais il n'en est pas de même en ce qui concerne certains cas du *chauffage*.

Quand le chauffage a lieu par la flamme, il y a un *lieu géométrique des maxima de température;* ce lieu géométrique, qui passe par les centres de toutes les sections de la flamme, est ce que nous nommerons l'*axe de la flamme*.

Quand le tirage a lieu par *inspiration*, l'axe de la flamme est une ligne, primitivement verticale, qui, se courbant à la rencontre de la *voûte*, marche parallèlement à cette dernière et vient se perdre au milieu de l'orifice d'échappement des gaz de l'appareil de chauffage. Si cet orifice est en haut, l'axe de la flamme peut être représenté assez exactement par les deux côtés d'un triangle rectangle; si cet orifice est en bas, l'axe de la flamme peut être représenté par les trois côtés supérieurs d'un rectangle ou d'un trapèze vertical, suivant la forme de l'appareil de chauffage.

Quand le tirage a lieu par *aspiration*, l'axe de la flamme est une *parabole* située dans un plan vertical dont les deux branches vont se perdre, l'une dans le foyer, l'autre dans l'orifice d'échappement de l'appareil de chauffage, et dont le sommet se rapproche d'autant plus de la ligne droite partant de l'*autel* et aboutissant au centre de l'orifice d'échappement, que le tirage est plus énergique.

Il résulte de cette définition des deux modes de tirage, que nous avons vérifiée par expé-

Digitized by Google

rience et qui est conforme à la théorie, que, quand la combustion a lieu par *vent forcé*, le maximum de la température est toujours dans les parties supérieures de l'appareil de chauffage; tandis que, quand la combustion a lieu par *aspiration*, les points soumis au maximum de la température sont sur la parabole partant de l'autel et aboutissant à l'orifice d'échappement; ils dépendent donc exclusivement et de la position de l'orifice d'échappement et de l'énergie du tirage.

Si, en ce qui concerne le chauffage d'une chaudière cylindrique à bouilleurs, cette observation est sans importance, on conçoit qu'il n'en est plus de même quand il s'agit du chauffage d'un four à réverbère et même d'une chaudière à chauffage intérieur et à tubes horizontaux. Il est évident que, dans ces deux derniers cas, si l'orifice d'échappement est situé dans les régions supérieures de l'appareil de chauffage, ce sont les régions supérieures seules qui seront chauffées. Si donc il importe que l'axe de la flamme soit dans les régions inférieures, comme pour le soudage du fer et la fusion de l'acier au four à réverbère, cette position de l'orifice d'échappement est mauvaise, et la dépense en combustible est d'autant plus forte que les régions inférieures mettent plus de temps à atteindre la température voulue.

Même, s'il s'agit du chauffage de l'eau par tubes horizontaux, la moitié supérieure de ces tubes, seule, sera léchée par la flamme, et le chauffage par la partie inférieure sera insignifiant; or, précisément, c'est cette partie qui est le plus convenable pour transmettre le maximum de calorique, par la raison qu'elle est à l'abri des dépôts de tartre.

Comme on le voit, il est de la plus haute importance, dans la construction des appareils de chauffage, de bien se rappeler les modes d'action des deux systèmes de tirage, car ces deux systèmes peuvent être employés soit isolément, soit simultanément.

Nous venons de voir ce qui se passe quand on les emploie isolément; nous allons maintenant voir ce qui se passe quand on les emploie simultanément.

Le principal inconvénient du tirage par aspiration, qui s'effectue toujours physiquement, c'est-à-dire au moyen des *cheminées*, c'est d'être *borné*, attendu que, pour procurer un tirage très-énergique, il faut dépenser infiniment plus de calorique pour une cheminée que pour un ventilateur.

Lors donc que l'on a besoin d'une très-haute température en un point de l'appareil de chauffage qui n'est pas la voûte, le plus économique est de faire usage des deux modes de tirages simultanément; le tirage par inspiration pour produire la température par une combustion énergique, et le tirage par aspiration pour *diriger* la flamme. C'est en partant de ces principes que nous sommes arrivé à fondre à la houille, régulièrement et en peu de temps, les aciers les plus doux.

Nous allons maintenant aborder les différents cas de la combustion en vue du chauffage.

## DU CHAUFFAGE.

Nous avons dit qu'on pouvait diviser les combustibles en
Combustibles secs,
Combustibles crus.

Digitized by Google

Nous avons dit également qu'on pouvait considérer deux modes de chauffages, savoir :
Le chauffage direct,
Le chauffage par la flamme.
De ces deux divisions découlent quatre problèmes à résoudre, savoir :
1° Chauffage direct par combustible sec ;
2° Chauffage direct par combustible cru ;
3° Chauffage par la flamme de combustible sec ;
4° Chauffage par la flamme de combustible cru.
Nous allons successivement les passer en revue.

### 1° *Du chauffage direct par combustible sec.*

La totalité du calorique développé pendant la combustion devant être utilisée dans le foyer même, la combustion du carbone doit s'effectuer intégralement dans le foyer, et le produit de la combustion doit être de l'acide carbonique. De son côté, le tirage doit être tel, qu'il passe au travers du foyer un minimum de 9 mètres cubes d'air par kil. de combustible brûlé. D'après MM. *Flachat* et *Petiet*, la quantité d'air qu'il convient d'injecter, pour brûler 1 kil. de coke, serait d'au moins 18 mètres cubes. Ainsi, pour produire de l'acide carbonique à coup sûr, il faudrait chauffer inutilement 9 mètres cubes d'air par kil. de coke brûlé.

On voit, par là, combien il importe d'accélérer la vitesse d'écoulement de l'air au travers du foyer, afin qu'il n'ait pas le temps de s'y échauffer suffisamment pour emporter une portion notable du calorique développé. La section des foyers à combustible sec doit donc être aussi petite que possible. Quant à leur hauteur, elle se détermine d'après diverses considérations telles que les suivantes :

1° La température à obtenir ;
2° La nature de l'objet à chauffer ;
3° La nature des résidus de la combustion ;
4° Les convenances, quant au renouvellement du combustible ;
5° La nécessité de ne pas laisser l'air trop longtemps en contact avec le combustible ;

Le tirage peut s'effectuer, à volonté, par inspiration ou par aspiration. Si la température doit être très-élevée, comme dans la fusion de l'acier au coke, il convient d'employer le premier mode de tirage, si on veut chauffer des chaudières à chaleur perdue.

Quand on n'utilise pas la chaleur perdue, le tirage physique suffit pour développer une haute température dans le foyer, et les cheminées peuvent être en briques rouges à une distance de $4^m,50$ du foyer sans entrer en fusion, ce qui prouve que les conditions du chauffage sont normales et que les gaz brûlés sont à une température relativement basse.

On peut se convaincre, par un calcul très-simple, que, si les gaz sortant du foyer (à raison de 18 mètres cubes par kil. de combustible brûlé) étaient à la température dudit foyer, celle de ce dernier serait très-basse.

Nous le répétons donc, quand il s'agit de chauffage direct, il faut un tirage excessivement énergique, non-seulement pour brûler intégralement le combustible dans le foyer, mais encore pour ne pas donner le temps aux gaz brûlés de s'échauffer.

Digitized by Google

### 2° *Du chauffage direct par combustible cru.*

On distingue deux modes d'alimentations des foyers, savoir :

L'alimentation en aval du foyer,

L'alimentation en amont du foyer.

Quand l'alimentation en combustible cru s'effectue en aval du combustible en combustion, le foyer n'est, à proprement parler, qu'un appareil distillatoire qui s'échauffe quand les matières volatiles des couches supérieures sont distillées, et se refroidit quand on dépose de nouvelles couches de combustible cru.

Quand l'alimentation s'effectue en amont, au contraire la distillation des matières volatiles s'effectue lentement, comme lors de la combustion du bois, à flamme renversée, dans les fours à porcelaine, et les gaz se brûlent dans le foyer même, si le tirage est assez énergique.

Lors donc qu'il s'agit de chauffage direct par combustible cru, c'est l'alimentation en amont qu'il faut employer.

La disposition suivante nous paraît la plus propre à donner une idée théorique de l'alimentation en amont, pour la houille :

Supposons une grille hémisphérique ayant son sommet en bas et située au-dessous d'un cylindre creux dans l'intérieur duquel est du combustible cru poussé verticalement de bas en haut par l'avancement lent d'un piston.

Le combustible cru pénètre au centre du foyer, y distille ses matières volatiles, et, comme nous l'avons dit, si le tirage est énergique, ces dernières s'y brûlent intégralement avant de s'échapper. Si le tirage n'est pas suffisamment énergique, il peut y avoir de la flamme, même de la fumée, en aval du foyer; mais alors il y a aussi formation d'oxyde de carbone, qui brûle ou ne brûle pas en aval du foyer, et les conditions du chauffage direct et économique ne sont pas remplies.

La disposition que nous venons d'indiquer préparant à la pratique d'assez nombreuses difficultés à résoudre, on a essayé de brûler la houille à flamme renversée, en faisant de la grille l'aval du foyer, c'est-à-dire en faisant circuler les gaz brûlés au travers de cette dernière. Le résultat final ayant toujours été une prompte et coûteuse détérioration de la grille, on y a renoncé.

En résumé, pour opérer le chauffage direct par combustibles crus, il faut remplir les mêmes conditions que pour le chauffage direct par combustibles secs; seulement, tandis que, pour ce dernier cas, l'alimentation en aval du foyer ne présente aucun inconvénient, pour l'autre il est indispensable que l'alimentation s'effectue en amont, si on tient à appliquer tout l'effet utile du combustible au chauffage direct, et surtout à développer une haute température dans le foyer.

### 3° *Du chauffage par la flamme des combustibles secs.*

Le chauffage par la flamme des combustibles secs est une anomalie, toutes les fois qu'il est volontaire, par la raison que les combustibles secs, brûlant dans de bonnes conditions, ne doivent pas donner de flamme.



Digitized by Google

Mais il est des cas où on peut se trouver dans la nécessité de brûler des combustibles secs, soit parce qu'on n'en a pas d'autres, soit par économie pour utiliser des résidus. Ainsi, à Allevard, sur les frontières de la Savoie, la houille est fort chère, tandis que l'anthracite ne coûte presque rien; d'autre part, les usines à fer font énormément de *grésillons* ou *escarbilles* qu'elles ont intérêt à utiliser, quand elles ne trouvent pas à les vendre.

Pour ces deux raisons, le chauffage par la flamme des combustibles secs mérite toute notre attention.

La flamme étant le résultat immédiat de la combustion des gaz et vapeurs combustibles, le chauffage par la flamme, quelle que soit la nature du combustible solide, comporte toujours deux opérations : l'une qui a pour but la production ou le dégagement du gaz combustible, l'autre qui a pour but sa combustion. Le foyer n'est donc, à proprement parler, dans ce cas, qu'un appareil de chimie, et ne doit, autant que possible, fonctionner que comme tel : s'il s'agit de combustible sec, il est dans le cas du tube de porcelaine incandescent, contenant une matière solide en morceaux, au travers de laquelle circule un courant de gaz destiné à se combiner avec elle; s'il s'agit de combustible cru, il n'est autre chose qu'un appareil distillatoire.

Lors donc que le chauffage a lieu par la flamme de combustible sec, il y a nécessairement deux appareils : le foyer ou générateur de l'oxyde de carbone; le four ou appareil de combustion utile et de chauffage. Ces deux appareils peuvent être réunis ou séparés sans inconvénient, puisque le chauffage doit avoir lieu par la flamme exclusivement. Leur réunion ou leur séparation dépend donc uniquement du plus ou moins de facilité qu'offre la disposition des appareils pour opérer la combustion de l'oxyde de carbone.

Quand le foyer et le chauffage sont réunis en un seul appareil, le mur qui sert de ligne de démarcation entre eux porte, avons-nous dit, le nom d'*autel*. C'est de ce mur qu'il convient le mieux de faire sortir, dans le four, l'air destiné à la combustion de l'oxyde de carbone engendré dans le foyer; or ce mur, se trouvant entre deux foyers également chauds, nécessite, pour sa construction, des matériaux suffisamment réfractaires à cause de la température, dociles à cause des formes qu'il faut donner à l'*autel* pour amener l'air par son intérieur, et non fragiles à cause de l'air qu'ils renferment et ne doivent laisser échapper que par des points déterminés.

Ces conditions, faciles à remplir avec des briques quand il s'agit de basses températures, sont inabordables quand il s'agit de températures élevées; dans ce cas, les briques fondent et bouchent les orifices d'échappement de l'air, ou bien elles se cassent et laissent échapper l'air en trop grande abondance; les métaux fondent ou se brûlent; bref, il a été, jusqu'à ce jour, impossible de brûler les gaz par injection d'air à l'*autel*. On a essayé, dans certains fours à réverbère chauffés à la flamme des combustibles crus, de lancer l'air par le mur de fond du foyer, on n'a pas plus réussi; il est vrai que, là, la température du foyer est inutilement plus élevée que dans le cas présent; réussirait-on mieux avec les combustibles crus ? Nous en doutons; aussi pensons-nous que la séparation du générateur et du chauffage est une des nécessités de la réussite dans le cas du chauffage par la flamme des combustibles secs. Le chauffage par les combustibles secs n'est donc plus alors qu'un cas particulier du *chauffage par les gaz*.

Digitized by Google

### 4° *Du chauffage par la flamme des combustibles crus.*

Le type des appareils de chauffage par la flamme des combustibles *crus* est le *four à réverbère*. Dans cet appareil, la combustion du carbone solide a pour but bien plus la distillation des matières volatiles combustibles que la production d'oxyde de carbone. Il y a donc, avant tout, à développer dans le foyer, eu égard à ses dimensions, une température en rapport avec la quantité d'hydrogène carboné que l'on veut dégager dans un temps donné.

Si la température du foyer est basse, c'est-à-dire correspondant à un tirage réglé pour faire de l'oxyde de carbone, la distillation est lente; si, au contraire, la température est élevée, c'est-à-dire correspondant à un tirage réglé pour faire de l'acide carbonique, la distillation est rapide. Dans le premier cas, 1 kil. de carbone pur peut donner 5784 unités de chaleur utilisable; dans le second cas, la chaleur utilisable résultant de sa combustion est nulle. La première question à poser est donc celle-ci, savoir :

Quand la combustion du combustible cru a pour but le chauffage par la flamme, convient-il de convertir le carbone, brûlant pur, en oxyde de carbone ou en acide carbonique?

Poser cette question, c'est la résoudre; il est bien évident, en effet, qu'il convient de faire d'abord de l'oxyde de carbone, et ensuite de brûler ce gaz mélangé à l'hydrogène carboné résultant de la distillation.

Pratiquement, en est-il de même? Dans l'état actuel des choses, on peut répondre : *peut-être*, mais certainement on ne peut pas répondre : oui. On a construit beaucoup d'appareils ayant pour but d'opérer, en deux fois, la combustion des combustibles crus; le plus nouveau est celui que M. *Beaufumé* a présenté à l'Exposition universelle pour le chauffage des chaudières à vapeur. Ces appareils, qui ont pour but aussi de faire, du chauffage par la flamme des combustibles crus, un cas particulier du *chauffage par les gaz*, ne sont pas employés. Sont-ils mauvais? non, mais ils ne sont pas encore mûrs.

Ainsi, pratiquement, il est *peut-être* possible d'opérer rationnellement le chauffage par la flamme des combustibles crus, mais ce n'est pas certain. Quant à présent, ce chauffage s'effectue en une seule opération, c'est-à-dire à l'aide d'un tirage suffisant pour que, après la combustion du carbone, il reste assez d'air en aval du foyer pour brûler l'hydrogène carboné provenant de la distillation du combustible.

C'est dire que le résultat de la première combustion, dans un appareil bien construit, doit toujours être de l'acide carbonique, car, s'il n'en était pas, c'est-à-dire si, au lieu de $9^{mc}$ au moins par kil. de carbone à brûler, on donnait moins de $4^{mc},5$, il ne se brûlerait pas un atome d'hydrogène carboné, et ce dernier se dégagerait intégralement en fumée.

Il résulte de ce fait que tout le calorique qu'est susceptible de développer 1 kil. de carbone solide, brûlant dans le foyer d'un four à réverbère, est perdu ou à peu près perdu; une partie, les 1586 unités de chaleur correspondant à l'oxyde de carbone, peut être considérée comme employée à la distillation des matières volatiles; l'autre partie, les 5784 de chaleur correspondant à l'acide carbonique, ne sert qu'à chauffer légèrement les gaz, car leur grande vitesse les empêche de se chauffer beaucoup dans le foyer, et à rayonner sur les parois supérieures,

Digitized by Google

dont la réverbération est plutôt une garantie contre le refroidissement de la flamme qu'un moyen d'élever la température de la *sole*.

Ceci admis, y a t-il au moins combustion complète de l'hydrogène carboné? Non, même dans les fours soufflés; la combustion est meilleure, il est vrai, dans ces derniers que dans ceux où le tirage s'effectue physiquement, parce qu'il y est plus facile d'augmenter la pression génératrice de l'écoulement de l'air, mais elle n'est pas encore assez bonne pour qu'il n'y ait pas perte notable. Il est vrai de dire que la perte provient, généralement, moins du mode de combustion que du mode d'alimentation du foyer. Si l'alimentation du foyer était continue, la fumée serait, on peut dire, insignifiante; mais, bien qu'on ait imaginé un grand nombre d'appareils à alimentation continue, on a toujours été obligé d'en revenir, jusqu'à ce jour, à l'alimentation intermittente, pour les fours à réverbère.

La température énorme qu'il faut obtenir, le plus souvent, dans ces appareils rend inapplicables une foule d'appareils qui ont donné de bons résultats dans les fourneaux de chaudières à vapeur.

La conclusion de tout ceci est que, jusqu'ici, le chauffage par la flamme des combustibles crus a été un mode de chauffage éminemment dispendieux; que, si la houille crue renferme 30 pour 100 d'hydrogène carboné, à 0,75 carbone et 0,25 hydrogène, 1 kil. de houille crue, brûlant dans un four à réverbère, ne donne, en effet utile maximum, que le résultat de la combustion de cet hydrogène, soit :

$$0{,}30\ (0{,}75 \times 7170 + 0{,}25 \times 34742) = 4218$$

unités de chaleur qui, par le chargement intermittent et le refroidissement qui en résulte, se réduisent à environ 3500 unités de chaleur.

C'est le moment de parler d'une modification qu'ont apportée au foyer des fours à réverbère MM. *Petin, Gaudet et C^ie^*, dans leur usine de Saint-Chamond.

Dans la disposition de ces messieurs, il n'y a pas de grille; le foyer est une capacité prismatique à base pleine; l'une des trois parois verticales, celle du fond, est percée d'une rainure par laquelle on foule le combustible neuf sous le combustible embrasé, sans donner accès à l'air; en face, et plongeant convenablement dans le foyer, sont deux tuyères à vent d'un diamètre et d'une pression suffisants pour permettre l'introduction de tout l'air nécessaire à la combustion complète du carbone et de l'hydrogène carboné. Cet air, se précipitant sur la partie embrasée, rencontre les gaz avant de pénétrer dans le combustible et les brûle aussi complétement que possible.

Comme, d'autre part, l'alimentation, bien qu'intermittente, se fait sinon en amont, du moins au milieu du foyer, sans entrée d'air, on peut dire que cette disposition est un véritable progrès; aussi réalise-t-elle une forte économie dans la dépense du combustible.

### 5° *Du chauffage mixte.*

Le type des appareils à chauffage mixte est la chaudière *tubulaire et à foyer intérieur*. Dans cet appareil, si le tirage est suffisant pour produire de l'acide carbonique, tout le calorique pro-

Digitized by Google

duit est rayonné sur les parois environnantes ; s'il y a de la flamme, cette dernière sert à chauffer les tubes.

La chaudière tubulaire, à foyer intérieur, est, de tous les appareils de combustion, celui où on peut le mieux observer les effets du tirage. En effet, que l'on examine l'intérieur de la boîte à feu d'une locomotive au repos : le combustible est rouge et produit à peine de vapeur, c'est-à-dire développe, en brûlant, un peu plus de calorique qu'il n'en faut pour empêcher le refroidissement de l'appareil ; il ne se produit alors que de l'oxyde de carbone. Que l'on examine ensuite l'intérieur de la même boîte à feu, quand la locomotive parcourt 60 kilomètres à l'heure, en charge, c'est-à-dire produit, par son injection dans la cheminée, un tirage très-énergique ; le combustible est blanc et sans flamme ; si ce combustible est du coke, la production de vapeur croît en raison de la dépense qui, en ce moment, est considérable ; c'est que, alors, tout le carbone passe à l'état d'acide carbonique ; sa puissance calorifique qui, tout à l'heure, était représentée par un nombre insignifiant de kilogrammes, multiplié par 1386, est maintenant représentée par 500 kilog. à l'heure, multipliés par 7170.

Dans le chauffage mixte, comme dans le chauffage par la flamme, l'emploi des foyers ordinaires rend impossible la combustion complète des fumées.

---

## CHAPITRE IV.

### DES TROIS CORPS, FER, CARBONE ET OXYGÈNE, MIS EN PRÉSENCE A HAUTE TEMPÉRATURE.

Quand les trois corps, *fer*, *carbone* et *oxygène*, sont en présence à haute température, ils réagissent toujours deux à deux, sans jamais donner lieu à un composé ternaire. De plus, l'oxygène se porte toujours, de préférence, sur le carbone.

Il en résulte que,

Quand le *carbone* est en excès par rapport à l'*oxygène*, le résultat de la réaction est toujours *oxyde de carbone* et *fer carburé ;*

Quand, au contraire, l'*oxygène* est en excès par rapport au *carbone*, le résultat de la réaction est toujours *acide carbonique* et *fer oxydé*.

Ainsi, des quatre produits de la réaction, il y en a toujours deux qui s'engendrent en même temps, et on peut les considérer comme deux couples, dont l'un apparaît quand l'autre disparaît.

Il suffit alors de constater la présence de l'un des quatre produits pour savoir lequel des trois autres se forme en même temps, et lequel des deux corps, *carbone* et *oxygène*, est en excès. Mais il n'est même pas nécessaire de constater la présence d'un des quatre produits pour savoir ce qui se passe quand la température est le résultat de la réaction même.

En effet, si la température est basse, on peut être certain qu'il y a excès de carbone et que le résultat de la réaction est *oxyde de carbone* et *fer carburé ;* si, au contraire, elle est élevée,

Digitized by Google

on peut être certain qu'il y a excès d'oxygène et que le résultat de la réaction est *acide carbonique* et *fer oxydé*.

En outre, l'*oxyde de carbone* et le *fer pur* ou *carburé* d'une part, l'*acide carbonique* et le *fer oxydé* d'autre part, sont sans action l'un sur l'autre à haute température. Ces couples, isolés, peuvent donc exister indéfiniment; mais, si on les met en présence, la situation change.

D'une part, l'oxyde de carbone se porte sur le fer oxydé et donne pour résultat *acide carbonique* et *fer métallique;* d'autre part, l'*acide carbonique* se porte sur le *fer carburé* et donne pour résultat *oxyde de carbone* et *fer métallique*.

Le résultat final devient alors : *fer, oxyde de carbone* et *acide carbonique*.

Or l'oxyde de carbone n'attaque pas le fer, mais il décompose son oxyde; l'acide carbonique, au contraire, attaque le fer et le convertit en oxyde. Que va-t-il alors se passer? Probablement rien; car, si l'acide carbonique attaque le métal, l'oxyde de carbone le ramène à l'état métallique.

Nous concluons de là que, quand le *fer*, le *carbone* et l'*oxygène* se trouvent en présence, à haute température, soit libres, soit combinés ou alliés, le résultat final est :

Si le carbone est en excès..... *fer carburé* et *oxyde de carbone;*

Si l'oxygène est en excès..... *fer oxydé* et *acide carbonique;*

Si les deux métalloïdes sont en proportions convenables pour produire autant d'oxyde de carbone que d'acide carbonique..... *fer métallique, oxyde de carbone* et *acide carbonique*.

Il n'y a donc réellement de difficulté que pour obtenir le fer métallique : pour l'obtenir sous l'une de ses deux autres formes, il suffit d'opérer avec excès de l'un des deux composants.

Encore quelques mots; nous venons de dire que

L'*acide carbonique*, en contact avec le métal, l'*oxyde* et se convertit en *oxyde de carbone;* l'*oxyde de carbone*, en contact avec l'*oxyde de fer*, le réduit à l'*état métallique* et se convertit en *acide carbonique*. Ces deux faits, quoique contradictoires en apparence, sont parfaitement vrais et se présentent dans une foule de circonstances. Voici comment M. *Cahours* (1855, tome I^er^, § 13) les explique :

« La masse des corps réagissants peut apporter encore, dans l'accomplissement des phéno-
« mènes de l'affinité, des modifications considérables. C'est ainsi qu'on voit des effets direc-
« tement opposés se produire fréquemment dans des circonstances qui paraissent entièrement
« identiques. Un exemple bien simple va nous permettre d'apprécier nettement cette influence
« de la masse. Que l'on fasse passer de la vapeur d'eau sur des fils de fer disposés dans un
« tube de porcelaine dont on porte la température jusqu'au rouge, une portion de cette vapeur
« sera décomposée par le métal, l'oxygène de l'eau se fixera sur ce dernier, tandis que l'hydro-
« gène, devenu libre, se dégagera sous forme de gaz qu'on pourra facilement recueillir, dans
« des flacons ou des éprouvettes, sur la cuve à eau. La conclusion naturelle à tirer de cette
« expérience, c'est qu'à la température du rouge l'affinité du fer pour l'oxygène est supérieure
« à celle de l'hydrogène pour ce corps, et que c'est en vertu de cette affinité prépondérante
« que la décomposition de la vapeur d'eau s'est opérée. Mais, si l'on fait passer à son tour l'hy-
« drogène recueilli sur l'oxyde de fer produit à la même température que tout à l'heure, on
« verra l'oxyde de fer éprouver une décomposition complète : de la vapeur d'eau prendra
« naissance, et le métal se trouvera revivifié. Cette seconde expérience conduit à une conclu-

Digitized by Google

« sion contraire à la précédente, en forçant à admettre, de la part de l'hydrogène, une « affinité prépondérante.

« Or, si l'on réfléchit un peu sur les différences que présentent ces deux expériences, qui « s'accomplissent dans des circonstances en apparence identiques, il deviendra facile d'en « trouver la clef.

« En effet, dans le premier cas, le fer est dominant par rapport à l'hydrogène, ce gaz se « trouvant entraîné par la vapeur à mesure qu'il se forme; dans le second, au contraire, « chaque molécule d'oxyde de fer se trouve environnée d'un grand nombre de molécules d'hy- « drogène, et, par suite, ce dernier corps s'empare de l'oxygène, en vertu de sa plus grande « masse relativement au métal. Cet exemple, dont nous rencontrerons un grand nombre « d'analogues, démontre clairement que les corps n'agissent pas l'un sur l'autre seulement en « vertu de leurs affinités électives, mais encore lorsque ces affinités diffèrent peu l'une de « l'autre, suivant les proportions respectives des matières qui se trouvent en présence. »

Ainsi ce n'est pas tout l'acide carbonique qui est décomposé par le fer, mais une partie seulement; de même ce n'est pas tout l'oxyde de carbone qui décompose l'oxyde de fer produit, mais une partie seulement. La réaction est alors le résultat du renouvellement continuel du même réactif libre sur le composé, et semble indiquer que la décomposition de ce dernier provient de ce que plusieurs atomes du réactif libre réunissent leurs affinités pour détruire celle d'un simple atome du composé.

On comprend, du reste, que les réactions de ce genre ne peuvent avoir lieu qu'entre corps dont les affinités sont sinon théoriquement égales, du moins très-rapprochées l'une de l'autre. Il serait même fort important que l'on pût déterminer si ce n'est pas un indice d'affinités atomiques tout à fait égales. Dans ce cas, nous conclurions que l'oxygène en présence du *fer* et de l'*oxyde de carbone* se porte indifféremment sur l'un et sur l'autre, et qu'il n'est pas nécessaire que tout l'oxyde de carbone soit devenu acide carbonique pour que l'oxygène réagisse sur le métal.

Mais, si l'oxygène en présence du *fer* et de l'*oxyde de carbone* se porte indifféremment sur l'un ou sur l'autre de ces deux corps, il n'en est pas de même quand il se trouve en présence du *fer* et du *carbone* pur; aussi est-il inconcevable que M. *Berzélius* ait répété de confiance, en 1846 (tome II, page 694), ce que MM. *Laurent* et *Leplay* avaient avancé en 1829, à savoir que le fer, en contact avec l'*oxyde de carbone* à haute température, en décompose la moitié, dont le *carbone* se porte, d'une part, sur le métal et le carbure, et dont l'oxygène se porte, d'autre part, sur l'*oxyde de carbone* non décomposé et le convertit en acide carbonique.

Digitized by Google

## CHAPITRE V.

### DES FERS, FONTES ET ACIERS DU COMMERCE.

Les *fers*, *fontes* et *aciers* du commerce sont des *alliages* plus ou moins purs de *fer* et *carbone*. Si les matières étrangères qu'on y rencontre étaient sans influence sur les propriétés du métal, il n'y aurait pas lieu de s'en préoccuper; mais il en est tout autrement, et les altérations que subissent ses propriétés, par suite de la présence de ces matières, sont si considérables, qu'il est de la plus haute importance de les étudier avec soin.

En principe, on peut rencontrer dans le fer tous les corps simples, soit purs, soit combinés entre eux; mais il s'en faut que pratiquement il en soit ainsi; aussi ne parlerons-nous ici que de ceux qui s'y rencontrent généralement, apportés soit par le minerai dont on extrait le métal, soit par le combustible employé à sa réduction, soit, accidentellement ou volontairement, par les opérations auxquelles est soumis le métal dans le cours de la fabrication.

A ce point de vue, on peut évaluer à dix environ le nombre des corps simples qui, en dehors du *carbone* et de l'*oxygène*, modifient les propriétés caractéristiques du métal.

Les plus importants de ces corps sont,

Parmi les métalloïdes, le *silicium*, le *soufre* et le *phosphore*;

Parmi les métaux, le *cuivre*, l'*arsenic*, l'*étain*, l'*argent*.

#### § 1er. De l'influence des métalloïdes, silicium, soufre et phosphore, sur la qualité des fers, fontes et aciers du commerce.

De tous les corps simples que l'on peut rencontrer dans le fer, le *silicium*, le *soufre* et le *phosphore* sont, après le *carbone* et l'*oxygène*, ceux qui souillent le plus généralement les fers, fontes et aciers du commerce.

Pour bien se rendre compte des effets qu'ils produisent, il convient, avant tout, de connaître leur nature et leurs relations avec le métal; c'est ce par quoi nous allons commencer.

1° *Silicium*. Ce corps, pur, se présente, solide, sous trois formes (Cahours, § 281), savoir:

1° A l'état pulvérulent,

2° A l'état graphitoïde,

3° A l'état cristallisé.

Il est infusible et fixe comme le *bore* et le *carbone*; mais il est soluble dans le sel marin liquide, et il est possible de l'obtenir cristallisé en évaporant ce dernier jusqu'à siccité à haute température.

Le silicium ne se combine pas avec le fer, du moins c'est notre avis. Doué de propriétés analogues à celles du carbone, il se comporte, en présence du métal, comme ce dernier corps, c'est-à-dire s'y dissout et le rend plus tendre à chaud et d'une fusibilité abordable.

Il nous serait difficile de dire si, sous l'influence de la trempe, le silicium se comporte comme le carbone ou comme les métaux, c'est-à-dire cristallise, en se solidifiant, par exalta-

Digitized by Google

tion ou par anéantissement de son pouvoir émissif. Sa cristallisation par évaporation du chlorure de sodium, le dissolvant, est insuffisante pour fixer les idées sur ce point. D'un autre côté, il est assez difficile de l'obtenir, allié au fer, sans la présence du carbone; cela tient à ce que, étant assez facilement oxydable, ce métalloïde ne s'allie bien au fer, à haute température, qu'autant qu'on opère en vase clos, c'est-à-dire dans de la brasque de charbon de bois, auquel cas le carbone s'allie en même temps au métal.

Pour obtenir un alliage pur de fer et de silicium, il faut, après avoir opéré en présence du carbone et constitué ainsi un alliage triple de *fer*, *carbone* et *silicium* fondu, et, si l'on veut, converti, par étirage au rouge-cerise, en barre plate et mince, cémenter le composé dans un oxyde métallique pendant un temps assez long pour que tout le carbone se rende à la surface.

Des alliages de fer et silicium obtenus par nous de cette manière nous ont paru ne pas durcir par la trempe. Nous n'oserions cependant pas affirmer ce fait, parce que la proportion de silicium en dissolution était très-faible.

Quoi qu'il en soit de l'effet de la trempe sur le silicium, la présence de ce corps dans le métal a toujours pour résultat de le rendre moins tenace à froid et plus tendre à chaud, c'est-à-dire d'altérer plus ou moins légèrement les qualités du métal comme fait le carbone; mais il n'a, quoi qu'en dise *Karsten* (§ 250), les effets fâcheux ni du *phosphore* en excès sur les fers froids, ni du *soufre* en petite quantité sur les fers chauds. En cela, nous pensons à peu près comme *Berzélius* (tome II, page 704).

Le silicium existe dans toutes les fontes du commerce, où il est apporté par la *gangue* du minerai à l'état de silice. La silice, en contact avec le fer et le carbone, à haute température, est décomposée, et le silicium se dissout avec le carbone dans le métal. De même, quand on décarbure une fonte liquide par réaction d'un oxyde métallique, le silicium abandonne le métal et se convertit en silicate.

Ces deux faits ont porté certains chimistes à supposer que le silicium ne pouvait exister seul dans le fer; il n'en est, malheureusement, pas ainsi, car alors il suffirait, pour fabriquer du fer de première qualité, de cémenter les fontes fines solides dans un oxyde métallique qui, en enlevant le carbone, enlèverait en même temps le silicium.

Quand les fontes sont destinées à subir de grandes résistances à froid ou à aller au feu, il convient d'éviter la présence du silicium et, à cet effet, de forcer le dosage en castine dans les hauts fourneaux. En effet, on a remarqué que les fontes grises contiennent d'autant plus de silicium qu'elles sont plus chargées de carbone. Ce fait est la conséquence de la réaction signalée plus haut; il suffit donc de le connaître pour en atténuer les inconvénients.

La présence du silicium en excès dans les fontes d'affinage serait sans grand inconvénient si elles ne se vendaient pas au poids et si, par le fait même de l'abondance du silicium, elles n'étaient pas très-carburées. Comme nous l'avons dit, la fonte liquide, en contact avec un oxyde métallique, non-seulement perd son carbone et devient fer plus ou moins aciéreux, mais encore elle perd son silicium qui, dans ce cas, suit, dans sa retraite, la même marche que le carbone, c'est-à-dire ne disparaît intégralement que quand le carbone a lui-même disparu intégralement aussi. Ce n'est donc pas, comme on le voit, une très-bonne méthode, pour obtenir de l'acier pur, que d'extraire ce dernier directement de la fonte. En tous cas, quand



Digitized by Google

on opère ainsi, il convient, comme pour le fer, de n'employer que des fontes très-peu carburées et, par conséquent, peu chargées de silicium.

En n'affectant, à l'affinage, que les fontes qui sont dans ces conditions, non-seulement on subit un déchet infiniment moindre, mais encore on paye la matière première moins cher et on opère plus vite la transformation, ce qui réalise encore une économie du combustible, main-d'œuvre et déchet.

Pour apprécier la présence du silicium dans les fontes, quand on sait qu'elles ne contiennent ni phosphore ni soufre, l'épreuve la plus convenable et la plus simple, sans avoir recours à l'analyse, est de la convertir en portes de fours à puddler ou en châssis de portes de fours à souder. Les fontes qui contiennent du silicium en proportion notable ne résistent pas à l'épreuve du travail, parce qu'elles sont trop tendres; on peut être sûr alors que, même en tenant compte de ce que nous avons dit concernant le graphite, elles seront toujours d'une faible résistance à froid.

Le silicium se cémentant dans le fer comme le carbone, et ne formant, avec lui, que des alliages, il serait intéressant de savoir si, comme celle du carbone, sa solubilité est proportionnelle à la température, et si, pris liquide et refroidi lentement, le métal qui le tient en dissolution en dépose une partie à l'état de graphite en se solidifiant. Les propriétés du silicium autorisent à le supposer; mais cela n'a jamais été étudié, par la raison que, pour tout le monde, sauf pour nous, les alliages du fer avec le carbone et le silicium sont des combinaisons. Nous croyons donc utile de recommander l'examen de cette question aux jeunes chimistes qui partagent notre manière de voir.

La présence du silicium dans l'acier, outre qu'elle a l'inconvénient de lui enlever le *corps*, à froid, et de le rendre trop tendre à chaud et, conséquemment, difficile à souder, a aussi celui de favoriser la retraite de l'acier coulé liquide dans les lingotières et de faire ce qu'on appelle *percer les lingots*. Mais, heureusement, s'il y a quelquefois beaucoup de silicium dans la fonte, il n'y en a jamais que de très-petites quantités dans le fer et dans l'acier provenant de l'affinage de cette dernière par les procédés ordinaires. Ce n'est que quand le silicium est apporté, à l'acier en fusion, par le manganèse qui sert de fondant et en est quelquefois trop chargé, ou par les riblons en poussière, tels que le grain de clous, qu'on emploie quelquefois à la fabrication des aciers fondus communs, que ce métalloïde peut faire sentir son influence lors de la coulée du métal.

D'autre part, quelque faible que soit la proportion du silicium en dissolution dans le métal, tout acier qui en contient est tout à fait impropre à la confection des outils, tels que burins, marteaux de moulins, forets, tarauds, etc. Dès qu'on se sert de l'outil, il grène immédiatement. Cela résulte de ce que nous avons dit plus haut relativement à l'influence du silicium sur la ténacité du métal.

Il faut, pour les outils en général, des aciers parfaitement purs; quelque doux même qu'ils soient, dès que la ténacité du fer vient à être diminuée par la présence d'un corps étranger, l'acier trempé, tout en conservant la dureté que lui communique la cristallisation du carbone, devient cassant. Cela s'explique facilement du reste; réparti sur une aussi grande masse, eu égard à ses proportions, qu'il l'est dans l'acier, le carbone cristallisé ne peut fonctionner, comme corps dur, qu'autant qu'il est convenablement enchâssé dans un corps tenace. Le fer

Digitized by Google

pur remplit bien le but que l'on se propose d'obtenir dans le cas d'un outil ; mais le fer impur y est tout à fait impropre.

On essaye souvent de fabriquer les limes avec des fers de qualité médiocre; aussi que donnent-elles? Dès qu'on les a légèrement grattées avec un morceau d'acier, elles *grènent* immédiatement ; si on essaye de les tremper très-doux pour les empêcher de grener, elles *refoulent*. Même pour les limes, il faut des aciers de première qualité, uniquement à cause de l'influence d'une petite proportion de silicium entrant dans le métal.

En résumé, le silicium est, comme le carbone, un corps incapable de se combiner directement avec le fer, mais capable de former, avec lui, des dissolutions dont la ténacité, à froid, est moindre, et la fusibilité, à chaud, est plus grande que celle du métal pur. Le silicium produit donc, jusqu'à un certain point, les mêmes effets que le carbone sur le métal, mais il reste à déterminer si le métal saturé, soit solide, soit liquide, de silicium pur donne naissance à trois produits distincts, comme le carbone; en un mot, si le silicium liquide cristallise en se solidifiant sous l'influence d'un refroidissement brusque, comme le carbone, ou sous celle d'un refroidissement lent, comme les métaux.

2° *Soufre*. Tandis que le *silicium* ne se combien ni avec le *fer* ni avec le *carbone*, le *soufre*, lui, se combine avec tous les deux et donne lieu à deux composés bien distincts, savoir :

Le sulfure de carbone, d'une volatilité extrême ;

Le sulfure de fer, solide et fusible seulement à une haute température.

Quand le fer contient du soufre en petite quantité, sa texture à froid est analogue à celle que lui communiquent le carbone et le silicium ; elle est plus foncée que quand ce métal est pur et le nerf est plus court; mais, à chaud, il en est tout autrement : non-seulement le métal est plus tendre, mais encore il perd toute consistance entre les températures comprises entre le rouge brun et le rouge blanc. Au delà du rouge blanc, il redevient malléable. Cette propriété a fait donner aux fers qui contiennent du soufre le nom de fers de *couleurs*, en ce sens que, suivant la proportion de soufre qu'ils contiennent, les températures de leur malléabilité à chaud changent. On les nomme aussi fers *rouverins ;* cette qualification convient mieux que l'autre, en ce sens que, quoique plus malléables à certaines températures qu'à d'autres, ils s'obtiennent, difficilement, finis sans criques.

Quand le fer contient du carbone, la présence du soufre y est moins sensible que quand il est pur; cependant il est toujours mauvais à chaud et exige de grandes précautions pour être étiré à chaud, sans criques. Les aciers provenant des fontes de l'Isère et de la Savoie contiennent tous plus ou moins de sulfure de cuivre; aussi, quand ils ne criquent pas, sont-ils toujours gercés sur les arêtes des barres spathées. Ces aciers sont, du reste, de très-bonne qualité, et il est probable que, si on ne fait pas de fer, c'est autant parce qu'il serait mauvais que parce qu'il y a avantage à faire de l'acier.

Le soufre, dans la fonte, pousse à la cristallisation du carbone pendant la solidification du métal liquide. Il est rare qu'une fonte liquide contenant du soufre ne donne pas de la fonte blanche en se solidifiant, même dans des moules en sable d'étuve. Quand le fait n'a pas lieu, c'est que le soufre a à lutter contre l'influence du phosphore qui produit un effet tout opposé.

Digitized by Google

Pour expliquer l'action du soufre sur le fer pur ou carburé, il convient de tenir compte des combinaisons que ce métalloïde engendre avec ces deux corps.

Quand le fer rouverin ne contient pas de carbone, ce n'est qu'à très-haute température que, chaud, il est malléable, et encore n'est-ce pas toujours. Il est alors permis de supposer que le soufre n'existe dans le métal qu'à l'état de sulfure, et que la fragilité qu'acquiert ce dernier, à certaines températures très-peu éloignées les unes des autres, provient du changement d'état physique de ce sulfure. Nous verrons tout à l'heure que le phosphore produit un résultat analogue, mais à d'autres températures. Quand, au contraire, le fer rouverin contient du carbone, il y a chez le soufre une tendance à se combiner avec ce dernier corps; c'est sans doute à cette tendance qu'il faut attribuer la cristallisation du carbone par refroidissement lent de la fonte liquide. Nous reviendrons, du reste, tout à l'heure sur ces propriétés.

3° *Phosphore.* Le phosphore se combine avec le fer, mais pas avec le carbone; aussi son action sur les fers carburés est-elle l'opposée de celle du soufre; au lieu de retenir le carbone en dissolution, le phosphore chasse ce métalloïde et rend grises des fontes liquides coulées en lingotières.

Tandis que le sulfure de fer n'est fusible qu'à haute température, le phosphure de fer, au contraire, est fusible à une température d'autant plus basse qu'il est à l'état de dissolution dans le métal; mais, solide, il est toujours cristallisé, tandis que le sulfure de fer ne l'est pas. C'est, sans doute, à cela qu'il faut attribuer les effets que nous allons relater.

Les fers alliés de phosphore en petite quantité ne sont pas plus affectés, à froid, de la préférence de ce corps, que s'ils contenaient du carbone, du silicium ou du soufre; mais, dès qu'ils en contiennent (Karsten, § 197) 0,66 pour 100 métal, ils commencent à devenir cassants et accusent une texture à facettes d'autant plus prononcée que la proportion de phosphore est plus grande. Chauffé au rouge, le métal acquiert une malléabilité extraordinaire qu'il conserve à toutes les températures au-dessus; seulement il devient tendre, comme tous les fers tenant des matières étrangères en dissolution. Refroidi lentement, il est encore malléable et susceptible de plier, sans se casser, à une température qui permet de mettre la main dessus sans se brûler; mais, dès qu'il est froid, il reprend sa fragilité.

Bien évidemment, cette malléabilité à chaud et cette fragilité à froid sont le résultat de la nature même du phosphure de fer en dissolution dans le métal; leur identité avec l'action du soufre, dans les hautes températures, le prouve surabondamment. Si les fers rouverins ne sont pas cassants à froid, cela provient uniquement de ce que le sulfure de fer ne cristallise pas en se solidifiant.

4° Des quatre corps, *carbone*, *silicium*, *soufre* et *phosphore*, en présence dans le *fer*.

Comme nous l'avons dit :

Le soufre retient le carbone par son affinité pour lui;

Le phosphore chasse le carbone par son affinité pour le fer et son indifférence pour le carbone.

Mais comment se comportent le soufre et le phosphore en présence?

M. *Janoyer*, ingénieur, a publié, dans les *Annales des mines* (t. 6, 1854), un mémoire ayant pour but de démontrer que,

*Quand le soufre et le phosphore se trouvent en présence dans la fonte liquide, le phos-*

Digitized by Google

*phore annihile une proportion du soufre, en se substituant au carbone et en facilitant, par suite, la formation du sulfure de carbone.*

Cette conclusion est la confirmation de ce que nous avons dit plus haut concernant le mode d'action des deux corps, *soufre* et *phosphore*, sur le métal. En effet, par le fait même que le soufre a de l'affinité à la fois pour le fer et pour le carbone, tandis que le phosphore concentre toute la sienne sur le métal, il doit nécessairement arriver que, quand ces corps sont en présence, le phosphore l'emporte sur les deux autres et les élimine de la dissolution.

Ainsi, des quatre corps, *carbone*, *silicium*, *soufre* et *phosphore*, se rencontrant dans le fer, deux, le *carbone* et le *silicium*, n'étant qu'à l'état de simple dissolution dans le métal, cèdent nécessairement le pas aux deux autres qui sont à l'état de combinaison ferrugineuse dissoute dans le métal : des deux autres, l'un, ayant autant d'affinité pour le carbone que pour le métal, le retient en dissolution et cristallisé au moment de la solidification; l'autre, n'ayant d'affinité que pour le fer, chasse tous les autres corps. Il en résulte que

1° Les fontes uniquement sulfureuses, prises froides, sont blanches et peu siliceuses;

2° Les fontes uniquement phosphoreuses sont grises.

Les fontes sulfuro-phosphoreuses sont grises et moins chargées de *soufre* que celles de même provenance ne contenant pas de phosphore.

Le phosphore est donc un des éléments indispensables des fontes au coke destinées à l'affinage, non-seulement parce qu'il contribue à éliminer le soufre, mais encore parce que, à chaud, il détruit une partie des effets désastreux de ce dernier sur le métal décarburé.

Un fait qui s'est passé sous nos yeux vient à l'appui de cette théorie :

Depuis quelque temps les fers de fonte au coke que nous fabriquions étaient, en grande partie, à facettes caractéristiques du phosphore abondant et ne pouvaient servir pour la fabrication du fer marchand. On eut l'idée, pour améliorer le fer, de mélanger notre minerai, au haut fourneau donnant la fonte, avec du minerai de *Bilbao* (Espagne), qui est très-pur. On en mettait 8, 10 et 12 pour 100 seulement.

Il arriva que les fers qui provenaient des nouvelles fontes, au lieu de facettes, présentèrent un nerf très-satisfaisant; mais, à chaud, ils criquaient, et cela d'autant plus fortement, que la proportion du *bilbao* introduit dans les charges du haut fourneau était plus grande.

Évidemment, là, la proportion de phosphore apportée par l'ancien minerai était d'autant plus insuffisante pour lutter contre la quantité *constante* de soufre apportée par le combustible, que la proportion de ce minerai était elle-même plus faible.

Mais quand on ne mettait pas de bilbao, si le fer ne criquait pas, il était mauvais à froid; c'était une impasse. C'est qu'en effet il y avait deux conditions à remplir et non une seule, savoir :

1° Diminuer la proportion du phosphore pour rendre le fer bon à froid;

2° Diminuer la proportion du soufre pour empêcher le fer d'être trop mauvais à chaud.

On peut conclure de ceci que si, dans la fabrication du fer *par la méthode anglaise*, d'une part, l'emploi d'une certaine proportion de minerai phosphoreux est indispensable, il faut, d'autre part, employer des cokes assez désoufrés pour que la proportion de phosphore apportée ne nuise pas à la qualité, à froid, du fer, tout en le rendant bon pour l'étirage à chaud.

Mais, si le phosphore en petite quantité ne nuit pas à la qualité du fer à froid, il en est tout

Digitized by Google

autrement quand il s'agit d'acier; non-seulement les fers phosphoreux retiennent très-difficilement le carbone, mais, quand on leur en donne par la cémentation, ils sont tout à fait incapables de fonctionner comme aciers trempés, quelque recuit qu'on leur donne; ils deviennent aussi fragiles que les fers brûlés; en outre, la moindre chaude suffit pour les débarrasser de leur carbone et les rendre nerveux; aussi les fabricants d'acier ne reconnaissent-ils comme bons pour ce produit que les fers qui, après affinage de la fonte, conservent le grain accusateur de la présence du carbone.

Le phosphore se fait moins sentir dans la fonte que dans le fer et l'acier, parce que cette dernière est grise et convient sinon pour les grands efforts à vaincre, du moins pour les pièces qui vont au feu; mais leur résistance n'est jamais bien grande, à cause de l'état cristallin que communique le phosphore à la partie aciéreuse.

§ 2. Des fers alliés de cuivre, arsenic, étain et argent.

Le *cuivre*, en petite quantité dans la fonte, ne lui est nuisible qu'autant qu'elle est destinée à la fabrication du fer. Quand la fonte ne doit être employée que pour moulages, 1 pour 100 de cuivre lui communique une dureté plus grande qui la rend propre à résister à l'action des acides et à l'usure des frottements; mais nous ne conseillons pas cet emploi, la valeur des vieilles fontes, qui en résultent, étant absolument nulle, dès qu'elles ne sont plus assez carburées pour subir de nouvelles fusions; les forges à fer n'en veulent à aucun prix.

La Savoie est riche en minerais généralement purs, mais souillés çà et là de pyrite cuivreuse. Les fontes, aciers et fers qui résultent de l'emploi des plus purs entre ces minerais sont d'excellente qualité; néanmoins, si la présence de 0,004 de soufre et 0,004 de cuivre est sans action sur la qualité de la fonte, elle se manifeste d'une manière évidente sur les aciers et fers laminés plats et passés au polisseur par des gerces, qu'on ne peut mieux comparer qu'au tressaillement de la couverte des faïences, qui ont lieu sur les côtés arrondis des barres spathées.

Le *cuivre*, jeté dans un bain de fonte en puddlage, rend le fer insoudable. Placé au centre d'une caisse à cémenter remplie de fer et de charbon, il se dissout dans le fer comme le carbone et communique à la cassure de l'acier sa propre couleur, sans ôter au métal la faculté de se laisser forger, mais en lui ôtant celle de souder, quelque basse que soit la température maxima à laquelle on puisse chauffer, sans désagréger.

Le cuivre se rencontre rarement dans le fer sans le soufre, ces deux corps y étant apportés à l'état de pyrite cuivreuse renfermée dans le minerai.

L'*arsenic*, en petite quantité dans la fonte, y joue à peu près le même rôle que le cuivre; sans lui nuire considérablement, il la rend impropre à être employée pour la fabrication du fer ou de l'acier. La présence de l'arsenic dans la fonte se manifeste toujours, quand on la chauffe au rouge, par le dégagement de l'odeur alliacée caractéristique de ce corps.

L'*étain* a une action très-caractéristique sur le fer. Quand on puddle en vrac de la ferraille étamée superficiellement, elle soude difficilement, conséquemment fait beaucoup de déchet et, après cinglage et étirage de la boule, donne un fer cassant à froid comme du verre, par la simple chute, se forgeant mal à chaud et très-difficilement soudable. La cassure froide est à peu près celle de l'acier trempé et non recuit ou, mieux, du fer brûlé, c'est-à-dire un grain fin et blanc, mais mat. Ce fer est impropre à toute espèce d'usage.

Digitized by Google

L'*argent* ne se rencontre généralement pas dans le fer. Si nous en parlons, c'est parce que MM. *Stodart* et *Faraday* ont découvert que ce métal, allié à l'acier, augmente sa ténacité et sa dureté après la trempe. Il résulte, en effet, des expériences de ces messieurs, que 1 d'argent et 500 d'acier fondus ensemble constituent un alliage parfaitement homogène, plus dur que le meilleur acier fondu, même que l'acier *wootz*, ne criquant sur les arêtes ni par le forgeage ni par la trempe. Ce qui rend cet alliage remarquable, c'est que 1 d'argent est son maximum de saturation; si on en met plus dans le creuset, il se sépare du métal, soit extérieurement, soit intérieurement, en formant des globules et des ramifications visibles à l'œil nu. Cette faculté que possède l'argent d'exalter les qualités de l'acier est très-remarquable, mais elle est peu utilisée dans les arts.

# LIVRE III.

## DES DIVERS PROCÉDÉS DE FABRICATION DU FER, DE L'ACIER ET DE LA FONTE.

La matière première et fondamentale du fer, de la fonte et de l'acier porte le nom de *minerai de fer*.

Le minerai de fer existe, plus ou moins abondant, dans toutes les parties du globe terrestre et se rencontre dans toutes les formations, depuis les terrains de transition jusqu'à ceux d'alluvion. Rarement il est pur; le plus généralement il est mélangé d'une foule de matières étrangères, connues sous le nom de *gangue*, dont on le débarrasse, en partie, par le *lavage*, le *broyage* et le *grillage*.

Quand, à la suite de ces opérations, le minerai contient moins de 25 pour 100 de métal pur, il est dans de mauvaises conditions pour être exploité pur et ne peut convenir qu'autant que les autres substances qu'il renferme sont nécessaires, comme *fondants*, pour les opérations auxquelles il convient de le soumettre.

On peut diviser en trois variétés principales les diverses combinaisons sous lesquelles se présente le minerai de fer dans la nature, savoir :

1° La variété oxygénée;

2° La variété silicée;

3° La variété carbonatée.

La variété *oxygénée* comprend tous les minerais dans lesquels le *fer* est à l'état de *deutoxyde* ou de *peroxyde anhydre* ou *hydraté*.

La variété *silicée* comprend tous les minerais dans lesquels le *fer* est à l'état de *silicate*, soit de *protoxyde*, soit de *peroxyde*, simples ou composés.

La variété *carbonatée* comprend tous les minerais dans lesquels le *fer* est à l'état de *carbonate* plus ou moins altéré.

Digitized by Google

Quels qu'ils soient, il n'existe qu'un procédé pratique de décomposition de ces minerais, savoir :

La réaction du carbone à haute température.

Si le minerai contient de l'*eau* ou de l'*acide carbonique* dissous ou combiné, ce corps s'évapore par l'effet de la température seule; s'il contient de la silice, elle est décomposée, comme nous l'avons dit (page 49), ou saturée par les oxydes de la gangue ou des fondants ajoutés à cet effet.

Ne nous préoccupons donc, quant à présent, pour apprécier les divers procédés de fabrication du fer, que des résultats de la réaction du carbone sur l'oxyde de fer, puisque, hydratés, silicés ou carbonatés, ils se comportent, en présence de ce corps, comme de simples oxydes.

Quand on chauffe dans un creuset un mélange composé d'oxyde pur de fer, n'importe lequel, et de charbon de bois en excès, il arrive un moment où tout l'oxyde est décomposé et converti en *fer spongieux*. Si on continue à chauffer, ce fer se cémente et se convertit en *acier spongieux;* si la température est suffisante, l'acier entre en fusion et devient *fonte* liquide.

Ainsi, quand l'oxyde de fer est pur, il suffit, pour obtenir l'un des trois corps, *fer*, *acier* ou *fonte*, de le chauffer suffisamment après l'avoir préalablement mélangé avec la dose de carbone nécessaire pour opérer sa décomposition et sa transformation.

Le peroxyde de fer, $Fe^2O^3$, contenant :

| | |
|---|---|
| Fer. . . . . | 69.989 |
| Oxygène. . . . . | 30.011 |
| | 100.000 |

L'oxyde de carbone, CO, contenant (page 36) :

| | |
|---|---|
| Oxygène. . . . . | 57.10 |
| Carbone. . . . . | 42.90 |
| | 100.00 |

Nous avons :

1° $57.10 : 42.90 :: 30.011 : x,$

d'où $x = 22.547;$

2° $69.989 : 22.547 :: 100 : x,$

d'où $x = 32;$

3° $69.989 :: 100 :: 100 : x,$

d'où $x = 143;$

c'est-à-dire :

1° Pour saturer 30.011 d'oxygène et réduire 100 de sesquioxyde à l'état métallique, il faut 22.547 de carbone;

Digitized by Google

2° Pour obtenir 100 de fer réduit à l'état métallique, au lieu de 69.989, il faut 32 de carbone;

3° Pour représenter 100 de fer, il faut prendre 143 de sesquioxyde.

De là,

Si pour 143 de sesquioxyde on emploie :

32 de carbone, on obtient du *fer pur;*

De 32 à 34.30 de carbone, on obtient de l'*acier* (*voir* page 16);

De 34.30 à 37.25 et plus de carbone, on obtient de la *fonte* (*voir* page 16).

Comme on le voit, il faut un minerai bien pur et des dosages mathématiques pour obtenir, à coup sûr, ce que l'on recherche; car, si, au lieu de 32 carbone, on met 32.5, on obtient de l'acier; si on met 35, on obtient de la fonte.

Or les minerais ne sont jamais théoriquement purs. Ce mode de fabrication est donc tout à fait impraticable pour le fer et pour l'acier, qui non-seulement exigent des dosages exacts, mais encore de la pureté. Il conviendrait, à la rigueur, pour la fonte, s'il n'était infiniment plus coûteux que tout autre procédé.

On l'emploie néanmoins avec succès, dans les laboratoires, pour les *essais de minerais par la voie sèche*. Dans ce cas, on se pose toujours pour but d'obtenir un culot de fonte; c'est dire que la température doit être très-élevée, puisqu'il s'agit de fondre de l'acier pendant un certain temps. A cet effet, on brasque un creuset de *Hesse* et on y perce un trou de 2 centimètres de diamètre jusqu'à 1 centimètre du fond. On place dans ce trou un mélange de charbon de bois, de borax ou de carbonate de chaux si le minerai est siliceux, de quartz pilé si, au contraire, il est chargé d'alumine, magnésie, chaux, etc., et pas de silice; puis un poids donné, 50 grammes par exemple, de minerai. On chauffe jusqu'à fusion du métal et formation d'un culot de fonte au fond du creuset. Afin que la composition de cette fonte soit constante, pour tous les essais on maintient pendant une bonne demi-heure la température au blanc soudant (1).

Quand l'opération est terminée, on retire un culot surmonté d'un laitier plus ou moins coloré par l'oxyde de fer qu'il a dissous et les matières étrangères renfermées dans le minerai. Il convient que ce laitier contienne le moins possible d'oxyde de fer. A cet effet, on fait plusieurs essais, à proportions différentes, des composants.

En général, pour que les fondants aient le degré de fusibilité nécessaire, ils doivent contenir environ, tant en matières existant dans le minerai qu'en matières ajoutées,

60 silice,
25 chaux,
15 alumine ou magnésie.

100

Comme on ne connaît pas de prime abord la composition du minerai, ce n'est que par des essais réitérés qu'on parvient à donner cette composition aux fondants.

Étant admis que les fabrications du *fer* et de l'*acier* dans le creuset sont des procédés impra-

(1) Tous les détails de cette opération se trouvent dans le *Traité des essais par la voie sèche* de M. Berthier.



Digitized by Google

ticables, parce qu'il n'existe pas de minerais théoriquement purs et que la fabrication de la fonte y est trop coûteuse pour être appliquée en grand, que nous reste-t-il à faire? décrire purement et simplement la méthode rationnelle de fabrication? mais tous les auteurs qui ont écrit avant nous ont procédé de cette manière; qu'en est-il résulté? c'est que, tous les jours, surgissent de soi-disant nouveaux procédés de fabrication qui, sous prétexte de nouveauté, ruinent leurs auteurs et ceux qui s'associent à eux.

Cela n'est pas étonnant; il n'y a que quatre procédés officiels de fabrication, et il en existe théoriquement neuf. Évidemment celui qui n'a aucune notion de chimie et découvre accidentellement l'un des cinq autres se croit inventeur et s'empresse de prendre un brevet.

A notre avis, un traité de la métallurgie du fer ne doit pas seulement traiter des méthodes qui ont le plus de succès et, par cette raison, sont universellement adoptées; il doit encore indiquer les autres et montrer par où elles pèchent. C'est ce que nous allons faire.

Nous venons de voir que, quand le carbone est en excès, il fait successivement passer le *minerai de fer* à l'état de *fer*, *acier* et *fonte;* nous avons vu (page 45) que, quand l'oxygène est en excès, il convertit successivement la fonte en *acier*, *fer* et *oxyde de fer*.

On peut donc dire que, théoriquement, étant donnée l'une des quatre substances, *oxyde de fer*, *fer*, *acier* ou *fonte*, il est toujours possible de la convertir en l'une des trois autres, ce qui donne lieu à la solution de douze problèmes; mais, parmi ces douze problèmes, il en est trois qui sont du domaine de la chimie : ce sont ceux qui ont pour but la conversion, en oxyde de fer, des substances *fer*, *acier* ou *fonte;* nous les supprimerons.

Il n'y a donc réellement, comme nous l'avons dit plus haut, que neuf problèmes à résoudre, savoir :

1° Conversion de l'oxyde de fer en fer;
2° Conversion de l'oxyde de fer en acier;
3° Conversion de l'oxyde de fer en fonte;
4° Conversion du fer en acier;
5° Conversion du fer en fonte;
6° Conversion de l'acier en fer;
7° Conversion de l'acier en fonte;
8° Conversion de la fonte en fer;
9° Conversion de la fonte en acier.

La métallurgie du fer étant l'art de fabriquer le *fer*, l'*acier* et la *fonte*, on peut dire que cet art a pour base la connaissance approfondie de la solution de ces neuf problèmes : nous allons l'indiquer sommairement pour chacun d'eux.

### PREMIER PROBLÈME.

*Étant donné de l'oxyde de fer, le convertir en fer.*

Prenons l'oxyde de fer tel que la nature nous le donne, c'est-à-dire à l'état de minerai plus ou moins impur.

Nous avons dit (page 56) que, quelle que soit la nature des matières étrangères contenues

Digitized by Google

dans le minerai et quel que soit le degré d'oxydation de ce dernier, le traitement est le même, c'est-à-dire, d'une part génération de calorique, d'autre part, saturation, par le carbone, de l'oxygène contenu dans l'oxyde de fer et conversion en silicates fusibles des matières étrangères.

Le moyen le plus économique que nous ayons pour engendrer le calorique étant, jusqu'à ce jour, la combustion du carbone pur ou mélangé de matières volatiles combustibles, et le carbone étant précisément le réactif de l'opération, il y a deux méthodes pour résoudre le problème, savoir :

La première, qui consiste à opérer, dans des appareils distincts, la génération du calorique et la réaction chimique;

La seconde, qui consiste à faire simultanément les deux opérations dans le même appareil.

Si les valeurs du carbone combustible et du carbone réactif étaient toujours les mêmes, il y aurait certainement économie à employer la deuxième méthode. Mais il n'en est pas tout à fait ainsi : quand on opère simultanément le chauffage et la réaction, il faut que le carbone employé soit le même pour les deux résultats; mais, quand on opère séparément, il en est tout différemment, et la valeur du carbone combustible peut se trouver assez faible, comparativement à celle du carbone réactif, pour que les frais de réduction du minerai non-seulement ne soient pas supérieurs, mais même soient inférieurs, dans le premier cas. C'est sans doute en s'inspirant de cette observation que M. *W. Clay* eut l'idée, en 1843, de fabriquer directement le fer avec le minerai dans un *four à puddler*.

Voici alors comment il convient de procéder (première méthode) :

La cuve du four à puddler étant une capacité à parois métalliques refroidie soit par un courant d'air, soit par un courant d'eau, on la garnit intérieurement en terre réfractaire, aussi solidement et aussi proprement disposée que possible, puis on chauffe graduellement jusqu'à la chaleur blanche.

Étant ensuite donnés un minerai, la nature et les proportions des fondants qu'il faut y ajouter pour obtenir le culot le plus satisfaisant dans l'essai par la voie sèche, on fait un mélange de ce minerai et de ces fondants, bien dosés, avec un excès de ce qu'il faut de charbon de bois en grain pour saturer l'oxyde de fer; puis on projette le tout sur la sole du four et l'y laisse reposer jusqu'à ce qu'il ait atteint la température de ce dernier et que les silicates aient commencé à entrer en fusion. A ce moment de l'opération on commence à brasser le mélange avec un ringard en fer, de manière à renouveler les surfaces en contact. Pendant ce temps, le chauffeur a soin d'entretenir toujours la flamme dans le four, afin que la proportion d'oxygène de l'air qui passe non brûlé à travers la grille soit au minimum. Si le laitier qui se forme paraît insuffisant pour empêcher le grillage du métal par la flamme, on ajoute du sel marin; si le charbon paraît insuffisant, on en ajoute aussi. A un moment donné on parvient à réunir les parcelles disséminées du métal en une ou plusieurs boules que l'on retire du four par la porte du puddleur et que l'on porte sous un marteau cingleur pour en extraire tout le laitier adhérent et les souder. On passe ensuite au laminoir en plat et on obtient une barre de fer.

Mais qu'est ce fer? Si nous avions déjà parlé du puddlage de la fonte, le lecteur s'en douterait d'avance; c'est un fer sale et incapable d'être employé à la fabrication des barres et tôles; de plus, si on le pèse, on constate un déchet considérable.

Digitized by Google

C'est qu'en effet il faut bien distinguer dans la fabrication deux natures d'impuretés du fer, savoir :

L'impureté chimique,
L'impureté mécanique.

Nous avons déjà traité de l'impureté chimique en parlant des fers du commerce;

C'est ici, mieux que partout ailleurs, qu'il convient de traiter de l'impureté mécanique.

Le fer ne s'obtenant pas par la fusion, mais par l'agglomération des particules qui se forment isolément pendant la réaction chimique; si cette réaction n'est pas complète, les particules de métal agglomérées tiennent emprisonnées entre elles non-seulement une partie du laitier liquide, mais encore une certaine quantité des matières premières qui ont servi à le fabriquer. Quand ces matières sont liquides, elles partent, au cinglage, avec les laitiers; mais, quand elles sont solides, comme le charbon de bois et l'oxyde de fer, elles restent emprisonnées dans le métal. Dans ce cas, leur extraction est tellement coûteuse, qu'elle ôte au procédé tout son avantage. C'est ce qui a lieu dans le cas présent; il faut, pour que ce procédé réussisse, que le métal soit mis en fusion, c'est-à-dire atteigne une température égale à celle qu'il faut pour fondre l'acier au maximum de saturation. Ajoutons à cela que les laitiers, qui sont indispensables pour préserver le métal contre l'oxydation, étant plus lourds que le carbone, relèguent ce dernier à la surface du bain et le séparent ainsi du métal réduit qui est au fond. Il y a donc presque impossibilité d'arriver à sa fusion à cause de cela. Il faudrait, pour que l'opération réussît, que le carbone fût mélangé dans le minerai non à l'état pur, mais à l'état de combinaison ou de dissolution pesante, comme la fonte par exemple. Mais la fonte ne contient au plus que 5 pour 100 de carbone; il en faut 32 pour faire 100 kilog. de fer; il faudrait donc mettre plus de six fois autant de fonte dans le four qu'on veut retirer de fer du minerai.

Encore, en agissant ainsi, sommes-nous obligé de supposer que la sole est parfaitement résistante et que l'acier produit se décarburera facilement par le brassage, ce qui a lieu du reste, comme nous le verrons plus tard.

Ce mode de fabrication n'a donc pas encore réussi; nous doutons fort qu'il réussisse jamais.

La deuxième méthode, celle qui consiste à opérer la combustion et la réaction dans un même appareil, est employée avec succès, dans l'*Ariége*, l'*Aude* et les *Pyrénées-Orientales*, sous le nom de *méthode catalane*; mais elle ne convient que dans le cas seul où les minerais sont très-riches. C'est donc à peu près la réaction théorique de la page 56; de plus, elle exige des minerais en roche et fusibles.

Quand le chauffage et la réaction ont lieu dans le même appareil, on comprend que, si cet appareil a un fond, l'apport de l'oxygène nécessaire à la combustion ne peut se faire comme dans le cas précédent; il faut, de toute nécessité, que cet oxygène soit apporté par une *tuyère* alimentée par une *machine soufflante*.

Or l'appareil doit nécessairement avoir un fond fermé, si on veut que le métal, qui est plus lourd que tout le reste, ait un endroit pour se réunir, et, comme le volume qu'il occupe est beaucoup moindre que celui des matières premières qui servent à sa production, il faut que le vase constituant l'appareil d'affinage soit évasé depuis la base jusqu'au sommet.

Digitized by Google

Supposons donc une capacité, en matériaux réfractaires, d'une hauteur quelconque et formant un *tronc de cône* ou de *pyramide quadrangulaire* renversé.

La réaction n'ayant lieu que sous l'influence d'une température élevée, le premier acte consiste dans la génération du calorique. A cet effet, nous remplissons la cuve de charbon de bois jusqu'à une certaine hauteur qu'indique l'expérience, et nous soufflons dans ce combustible par une tuyère située à une hauteur, au-dessus du fond, que l'expérience indique également.

Quand la combustion est suffisamment vive, nous plaçons, dessus le charbon embrasé, notre mélange de charbon et minerai, soit pur, soit muni de fondants, suivant sa composition. Alors les deux réactions commencent : d'une part, l'oxyde de fer se réduit à l'état métallique sous l'influence du carbone en contact et de l'oxyde de carbone provenant de la décomposition, au contact du carbone incandescent, de l'acide carbonique produit par l'oxygène affluant de la tuyère et en excès dans la combustion inférieure ; de l'autre, les silicates se forment, se liquéfient et descendent à la partie inférieure de la cuve. Tant que le métal est solide, il reste en mélange, dans les régions supérieures, avec les parties solides du minerai. Un seul moyen se présente pour l'en séparer ; ce moyen, c'est sa liquéfaction. Or, dans le cas présent, la liquéfaction du métal est une des choses les plus simples. Grâce à la tuyère et au combustible qui est dans la partie inférieure de la cuve, la température peut facilement s'élever jusqu'à celle de fusion de l'acier ; grâce, en outre, à l'excès de charbon dont est entouré l'oxyde, ce dernier ne tarde pas à devenir fer, puis acier d'abord solide, ensuite fondu. Il pourrait même devenir fonte si, au moment où il se précipite, liquide, dans les régions inférieures de la cuve, il ne rencontrait le courant de la tuyère pour arrêter la réaction. La vitesse, d'ailleurs, avec laquelle il descend, dès qu'il est liquide, ne lui permet pas de se saturer de beaucoup de carbone en cet état.

Mais la descente des silicates au travers du minerai et du combustible n'a pu se faire sans emporter une forte proportion d'oxyde de fer en dissolution. Il en résulte que, dans le commencement de l'opération surtout, les silicates sont très-basiques, ce qui les fait appeler *scories douces*. Quand l'acier rencontre ces scories au fond du creuset, il ne tarde pas à se décarburer et à former du fer retenant plus ou moins de carbone suivant son degré de pureté. Ces scories sont même tellement riches, que, quand on fabrique le fer par ce procédé, on les laisse à peine séjourner au fond du *creuset* et on les en retire par un trou dit de *chio* ménagé à cet effet ; puis, quand elles sont figées, on les replace sur le foyer, d'où elles ne tardent pas à redescendre au fond, de moins en moins riches, c'est-à-dire en donnant naissance à de nouvelles proportions du métal réduit.

Il n'y a pas ici, comme on le voit, à craindre l'influence qu'ont, dans la méthode précédente, les parties du minerai non réduites sur la pureté mécanique du métal. Grâce à la fusion momentanée du métal, on ne recueille pas le produit là où la matière première a été déposée, et on est certain que tout ce qui est produit a subi la réaction voulue.

Malheureusement la méthode catalane consomme énormément. D'après M. *Richard*, qui a fait un ouvrage spécial sur la fabrication du fer par cette méthode, une charge de minerai de 487 kilog., contenant 44 pour 100 de fer en moyenne, soit 215 kilog. métal, ne rend que 150 kilog. de fer en barres et consomme 517 kilog. de charbon de bois ; soit, pour 100 kilog. de métal obtenu :

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Minerai. . . . . | 324k.66 |
| Charbon. . . . . | 344k.92 |

Il n'y a que les pays où le charbon et le minerai sont à très-bon marché qui peuvent faire usage de cette méthode; mais le lecteur n'appréciera bien ces chiffres que quand il connaîtra les autres méthodes de fabrication.

### DEUXIÈME PROBLÈME.

*Étant donné de l'oxyde de fer, le convertir en acier.*

Disons tout d'abord que ce problème peut se résoudre d'une manière assez satisfaisante, pour certains usages, par la méthode catalane. En effet, le foyer catalan étant, avant tout, un générateur d'acier fondu, il suffit, pour conserver au produit sa composition, d'anéantir, autant que possible, les réactions qui ont lieu au fond du creuset. Or ces réactions sont de deux natures, savoir :

Réaction des scories douces,

Réaction du vent de la tuyère.

Faisons couler les scories au fur et à mesure qu'elles arrivent au bas du creuset, relevons le jet d'air lancé par la tuyère, et alors, d'une part, les scories n'auront qu'une action décarburante très-faible sur le métal accumulé au fond du creuset; d'autre part, le charbon incandescent, en contact avec lui, brûlera plus lentement et aura tout le temps nécessaire pour recarburer sa surface au fur et à mesure que les scories douces viendront la décarburer.

Comme précaution accessoire, au lieu de remettre les scories douces sur le combustible, laissons-les là où elles s'écoulent, afin qu'il y en ait moins qui viennent couler sur le métal.

Parlerons-nous des autres méthodes, quoique tout ce que nous avons dit jusqu'à présent les condamne sans appel. Il le faut, car si les inventions ont pullulé, surtout dans ces derniers temps, c'est principalement pour ce genre de fabrication.

Mettez de l'oxyde de fer pur, en morceaux gros comme des noisettes au moins, et du charbon de bois en grains ou en poudre, ou bien de l'oxyde de fer en poudre avec du charbon de bois en morceaux gros comme des noisettes, dans un creuset; chauffez au rouge blanc pendant vingt-quatre heures environ, et au bout de ce temps vous retirerez de l'acier spongieux et du charbon de bois à peu près tel que vous l'aurez mis.

Chargez une caisse à cémenter de la même manière, et au bout de dix jours, si l'air n'a pas pénétré dans la caisse, vous obtiendrez le même résultat.

Enfin, quelle que soit la méthode, mettez du carbone et de l'oxyde de fer pur, solides, mais faciles à séparer l'un de l'autre, en contact pendant un temps suffisamment long, à une température assez élevée pour que la réaction ait lieu sans fusion, et vous aurez fabriqué de l'*acier spongieux*.

A quel degré de dureté? cela, nous ne pouvons le dire; il dépend de la température.

Comprimez cet acier, mettez-le dans un creuset et fondez-le, vous obtiendrez des lingots d'acier fondu.

Digitized by Google

Mais, nous le répétons, ayez soin de prendre de l'oxyde de fer parfaitement pur, car, si vous ne prenez pas cette précaution, vous n'obtenez qu'un acier de qualité très-douteuse.

A cela l'inventeur répond : Je prendrai l'oxyde le plus pur que je pourrai trouver, et, si mon acier n'est pas de première qualité, il sera de seconde ou de troisième ; mais, comme il coûtera très-bon marché, j'en aurai toujours un écoulement avantageux.

Oui ; seulement, comme il ne connaît pas le métier, la plupart du temps l'inventeur se trouve n'avoir pas prévu deux choses, savoir :

La première, c'est que, s'il a une commande de 100,000 kilog. d'acier doux à fabriquer, ce n'est pas avec de l'acier dur qu'il la soldera, et réciproquement. Or il ne sait pas, il ne peut pas savoir ce que sera son acier fondu, parce que, eût-il la science de le choisir après la cémentation, sa dureté, après la fusion, dépend, en grande partie, des matières étrangères qu'il renferme et qu'aucun affinage ne lui a encore enlevées ;

La seconde, c'est que, quelque comprimées que soient les éponges, nous l'avons expérimenté nous-même chez M. *Debrye*, à Saint-Étienne, sur les éponges de M. *Adrien Chenot*, tel creuset qui contient facilement de 20 à 22 kilog. d'acier cémenté ordinaire ne contient plus que 12 kilog. d'acier spongieux comprimé. L'inventeur nous répondra bien que, quand les 12 kilog. sont fondus, on peut en ajouter 6 autres ; mais, quand les 20 kilog. d'acier cémenté ordinaire sont fondus, on peut aussi en ajouter 8 autres, et cependant on ne le fait pas, parce que les frais de fusion, loin d'être diminués par ce moyen, sont presque doublés : l'acier liquide, en présence de ce refroidissement subit, se gèle, et il faut autant de combustible au moins pour refondre le tout qu'on en a consommé pour fondre les 20 premiers kilogrammes ; de plus, à rendement égal, les frais de creuset et de main-d'œuvre sont plus considérables.

Il faut donc, de toute nécessité, admettre que les frais de fusion de 12 kilog. d'acier spongieux sont les mêmes que ceux de fusion de 20 kilog. d'acier cémenté ordinaire.

Ainsi, quand on fabrique l'acier avec le minerai,

1° Il faut employer du minerai très-riche et très-cher, tant par sa rareté que par ses frais de transport, car il n'existe pas généralement dans les pays où est le combustible indispensable pour la fusion de l'acier, c'est-à-dire la houille ;

2° Sa cémentation est une des opérations les plus difficiles, le fer spongieux étant un des corps les plus pyrophoriques ;

3° Il faut comprimer fortement les éponges obtenues à l'aide d'appareils spéciaux ;

4° Le choisissage étant impossible d'une manière sûre, il faut fondre beaucoup pour obtenir un peu, sans certitude d'écouler promptement ce qui n'a pas le degré de dureté voulu ;

5° Les frais de fusion sont au moins doubles de ce qu'ils sont pour l'acier cémenté, parce qu'on ne peut charger que 12 kilog. au lieu de 20, et que le rendement de ces 12 kilog d'acier spongieux est, à cause des matières étrangères qu'il renferme, généralement au-dessous de 10 kilog. ;

6° Enfin l'acier obtenu est toujours de qualité inférieure.

### TROISIÈME PROBLÈME.

*Étant donné de l'oxyde de fer, le convertir en fonte.*

Nous avons vu (page 57) que, des trois produits, *fer*, *acier*, *fonte*, la fonte est le seul que

Digitized by Google

l'on peut extraire facilement de la réaction du carbone sur l'oxyde dans un creuset, quelque impur que soit le minerai, quel que soit le dosage en carbone. Ainsi, pour nous, le problème est résolu en petit; il ne s'agit plus que de le résoudre en grand.

Au premier abord, un grand creuset paraît le moyen le plus économique; mais, comme il faut transvaser la fonte obtenue du creuset dans une lingotière, un grand creuset n'est possible qu'autant qu'on ne sera pas obligé de l'enlever du feu pour cette opération, c'est-à-dire si on le perce, à la partie inférieure, d'un trou fermable et ouvrable à volonté par un tampon d'argile.

La fonte étant un corps qui reste liquide jusqu'à une température assez basse, comparativement à l'acier, le moyen est exécutable, et alors le creuset peut affecter théoriquement des dimensions colossales; seulement un trou est insuffisant, il en faut deux : un à la partie inférieure, pour l'écoulement de la fonte liquide, comme nous venons de le dire, et un autre à une certaine hauteur, formant le niveau supérieur de la fonte, pour l'écoulement du laitier.

Avant d'aller plus loin, observons que, s'il était possible de construire un creuset colossal, soit en un seul, soit en une infinité de morceaux, chauffé extérieurement à la flamme de la houille, toutes les fontes pourraient être fabriquées au charbon de bois, et la consommation de ce dernier ne serait peut-être pas plus considérable qu'elle n'est actuellement, c'est-à-dire quand les neuf dixièmes des fontes sont fabriquées au coke; mais ce n'est qu'une idée.

De même que dans la transformation du minerai en fer ou acier, considérons deux genres d'appareils, savoir :

Les appareils où le chauffage et la réaction sont indépendants l'un de l'autre;

Les appareils où le chauffage et la réaction sont réunis.

Nous venons de représenter à l'intelligence du lecteur un appareil de fabrication en grand, à chauffage indépendant de la réaction; nous pourrions également lui proposer le four à puddler dont nous avons parlé (page 59); mais les inconvénients de ce four sont les mêmes, et peut-être pires, quand il s'agit de fabriquer de la fonte que quand il s'agit de fabriquer de l'acier. En général, le four à réverbère est bien plutôt un oxydant qu'un carburant, quoi qu'on fasse d'ailleurs.

Nous allons maintenant parler de l'appareil à chauffage et réaction réunis.

Pour cela il nous suffit, sans changer la forme du creuset précédemment décrit, d'augmenter le dosage en carbone de toute la quantité qui doit être brûlée, sans réagir directement, pour produire la température, et de percer, à la hauteur du trou à laitier, un, deux ou trois trous pour lancer de l'air par une, deux ou trois tuyères.

Le *haut fourneau*, c'est le nom que prend alors le creuset colossal précédemment décrit, diffère du foyer catalan en un point très-important. En effet, tandis que, dans ce dernier, le fer ou l'acier qui remplit ses régions inférieures se solidifie au fur et à mesure qu'il y arrive, il en est tout autrement dans le haut fourneau, et la fonte, se trouvant à une température suffisamment élevée, reste liquide.

La nécessité de retirer par en haut le métal solide, dans le foyer catalan, fait que ce foyer est nécessairement bas et que le travail y est nécessairement aussi intermittent.

La possibilité de faire couler la fonte liquide par un trou ménagé à la partie inférieure du

Digitized by Google

creuset, dans le haut fourneau, fait que ce genre d'appareil peut être très-élevé et que le travail peut y être continu.

Comme dans le feu catalan, le carbone employé au chauffage est presque intégralement utilisé à la réaction, en ce sens qu'il produit de l'oxyde de carbone jouissant (page 46) de la propriété de décomposer l'oxyde de fer et de donner du fer et de l'acide carbonique.

Si donc la quantité d'oxyde de carbone produit par la combustion du carbone destiné au chauffage est suffisante pour décomposer tout l'oxyde de fer, la quantité de carbone nécessaire à la réaction, au lieu d'être, comme auparavant, de 32 + 5 pour 100 de fer à saturer (page 57), n'est plus que de 5 seulement.

En faisant le calcul de la consommation sur cette donnée, c'est-à-dire en supposant que le carbone nécessaire à la réaction suffit pour produire en même temps la température, on aurait (page 57) :

| | Pour 100 fer, en poids. |
|---|---|
| Peroxyde de fer pur. . . . . | 143 |
| Carbone à dissoudre. . . . . | 5 |
| Carbone à brûler. . . . . | 32 |
| Oxygène à employer. . . . . | 42.35 |
| Air à introduire (page 36). . . . . | 203 |

On verra plus loin combien ces quantités sont insuffisantes et pourquoi nous avons posé ces chiffres.

De même que, dans le foyer catalan, le jet d'air lancé par la tuyère a pour premier effet de produire de l'acide carbonique et d'élever assez la température pour fondre l'acier; de même aussi, dans le haut fourneau, l'injection de l'air produit d'abord de l'acide carbonique et une haute température. Mais si, dans le haut fourneau, l'acide carbonique ne durait pas plus longtemps que dans le foyer catalan, la hauteur échauffée ne serait pas plus grande, et, au lieu de fonte, nous obtiendrions de l'acier fondu. Il faut donc, pour que le métal qui tombe dans le creuset soit de la fonte, que la combinaison de carbone et d'oxygène qui s'effectue aux tuyères reste acide carbonique jusqu'à une hauteur suffisante pour que l'acier fondu ait le temps de se saturer liquide pendant sa descente dans le creuset. En d'autres termes, la haute température, produisant la fusion de l'acier, étant la conséquence de la production d'acide carbonique, par la combinaison de l'oxygène avec le carbone, il faut que cette production règne, dans le haut fourneau, qui a pour but la génération de fonte, sur une hauteur plus grande que dans le foyer catalan, qui n'a pour but primitif que la génération d'acier fondu; on peut même ajouter qu'il faut que cette hauteur d'acide carbonique soit d'autant plus grande, dans le fourneau, que la fonte doit être plus saturée.

Or il n'y a qu'un moyen de remplir cette condition, c'est de faire tellement affluer l'oxygène, qu'il se trouve en excès dans tout le volume de l'appareil correspondant à la hauteur précitée.

Qu'on le remarque bien ici : un excès d'oxygène ne veut pas dire une plus grande consommation de carbone. Avec un d'oxygène produisant de l'oxyde de carbone, vous consommez autant de carbone qu'avec deux d'oxygène produisant de l'acide carbonique. Si donc vous avez en présence, au moment de cette importante réaction, d'une part la quantité d'acier fondu à convertir en fonte, d'autre part la quantité de carbone nécessaire pour la formation de l'acide carbonique et celle nécessaire pour la saturation du métal, vous pouvez être certain que vous



Digitized by Google

obtiendrez de la fonte, si la hauteur de ce milieu, qu'on a, à juste titre, appelé l'*ouvrage* et qui, pour nous, ne porte encore que celui d'acide carbonique, est suffisante pour donner à l'acier fondu qui descend le temps de se saturer.

L'expérience a déterminé depuis longtemps ce que la théorie nous indique aujourd'hui pour obtenir, avec un minimum de dépense d'air, la hauteur qu'il convient de donner à ce milieu d'acide carbonique ; c'est d'en réduire, autant que possible, la section.

Étant donc donnée, par expérience, la hauteur $h$ d'acide carbonique correspondant à un degré déterminé de saturation de l'alliage liquide au moment où il entre dans le creuset, nous voyons déjà que la partie du haut fourneau placée immédiatement au-dessus du creuset est un cylindre ou un prisme, ayant pour hauteur $h$ et pour section une fraction, aussi petite que possible, des sections supérieures de l'appareil.

Ce cylindre ou prisme porte le nom d'*ouvrage*. L'ouvrage est donc, d'après cela, la partie du haut fourneau dans laquelle l'*acier fondu* se convertit en *fonte*. Sa section, qui est fonction des sections supérieures, est déterminée par la quantité de produit que l'on veut obtenir par vingt-quatre heures, et sa hauteur est proportionnelle à la quantité de carbone que doivent dissoudre 100 kilog. d'acier fondu au maximum de saturation.

Nous disons *au maximum de saturation*, parce que, dans le haut fourneau, le métal est en cémentation dans un excès de carbone.

Inutile d'ajouter que, afin de maintenir la fonte liquide et, par conséquent, le creuset chaud, il convient de lui donner, autant que possible, pour section, la section de l'ouvrage, et de régler sa profondeur, tant d'après la capacité qu'il doit avoir, eu égard au nombre des coulées par vingt-quatre heures, que d'après la nécessité dans laquelle il est de maintenir liquide, sur toute sa hauteur, le bain de fonte dont il se remplit.

Maintenant que nous venons de déterminer les dimensions relatives et du creuset et de l'ouvrage, il convient de déterminer les dimensions de la caisse à cémenter le minerai, à travail continu, que l'on nomme *cuve*.

Disons d'abord que la section de la cuve étant toujours très-grande par rapport à celle de l'ouvrage, son raccordement avec cette partie de l'appareil est nécessairement un tronc de cône renversé si les sections sont circulaires et un tronc de pyramide renversée si les sections sont carrées. Mais il est inutile de laisser supposer plus longtemps ce dernier cas; on ne fait plus de cuves à section carrée; les ouvrages peuvent être à section carrée, sans inconvénient, s'il y a plus de facilité à les construire ainsi, mais les cuves sont toutes à section circulaire. Le raccordement entre la cuve et l'ouvrage, carré ou rond, est donc aussi à section circulaire, donc un tronc de cône renversé.

Ce tronc de cône renversé, qui porte le nom d'*étalages*, est la partie du haut fourneau où le fer spongieux, résultant de la réaction de l'oxyde de carbone sur le minerai, dans la cuve, se convertit en acier spongieux, dont la saturation, presque nulle en y entrant, atteint son maximum au moment où il en sort en fusion pour entrer dans l'ouvrage.

C'est aussi dans les étalages que les laitiers liquides commencent à se former, sous l'influence de la température qui y règne. La fusion de l'acier, d'une part, à la partie inférieure et le commencement de fusion, d'autre part, des laitiers à la partie supérieure expliquent pourquoi les charges peuvent descendre régulièrement dans ce tronc de cône qui précède l'ou-

Digitized by Google

vrage. A ce moment, en effet, les volumes commencent à décroître prodigieusement vite.

Deux cotes sont à déterminer dans les étalages, savoir l'*inclinaison* qu'il convient de leur donner pour que le mélange ne descende ni trop vite ni trop lentement, et la *hauteur* qu'il convient de leur donner pour que le fer spongieux ait le temps de se cémenter et les laitiers de se former complétement pendant leur parcours.

Pour remplir ces deux conditions, il faudrait s'engager à donner à la base de la cuve n'importe quelle section, ce qui est impossible. L'inclinaison étant d'une haute importance, on la subit; quant à la hauteur, si elle n'est pas en rapport avec la base calculée de la cuve et correspond à un diamètre trop grand de cette dernière, on conserve le diamètre voulu pour la base de la cuve et on surmonte les étalages d'une partie cylindrique appelée *ventre cylindrique*, dont la hauteur est égale au complément formant, avec la hauteur adoptée des étalages, la hauteur totale qu'ils doivent avoir.

L'inclinaison des étalages varie entre 45 et 70°, mais, le plus généralement, entre 55 et 65°, l'angle le plus fort pour les minerais réfractaires, le plus faible pour les minerais fusibles. En général, il importe de donner aux étalages le plus de pente possible pour faciliter la descente des matières.

La hauteur des étalages est, comme l'inclinaison, d'autant plus grande que les minerais sont plus réfractaires; elle dépend un peu aussi de la nature de la fonte, en ce sens que, quand on veut fabriquer de la fonte très-carburée, on ne risque rien à prolonger les opérations préliminaires, afin que les réactions soient complètes. Il est donc bon, dans ce cas, d'augmenter, plutôt que de diminuer, la hauteur des étalages. Le contraire a lieu quand il s'agit de fabriquer des fontes d'affinage, c'est-à-dire destinées à la fabrication du fer.

Le diamètre de la base de la cuve se détermine, par expérience, sur des appareils marchant d'après les natures des minerais, des fondants et du combustible employé. Si A est, par exemple, la production en fonte journalière pour une section S, pour une production A' et une section S' inconnue, on aura à peu près la proportion suivante :

$$A : S :: A' : S'.$$

La hauteur de la cuve se détermine aussi par expérience. Elle doit être telle que, quand le haut fourneau est chargé jusqu'en haut, le poids des matières remplissant la cuve soit suffisant pour que la descente, dans les étalages et dans l'ouvrage, soit en rapport avec la réaction chimique qui s'opère dans l'ouvrage, c'est-à-dire pour que l'alimentation en acier fondu et carbone, pour produire la fonte et entretenir la combustion, soit régulière.

Il est d'usage de donner à la partie supérieure de la cuve, que l'on nomme *gueulard*, une section moindre que celle du ventre; cela a principalement pour but de faciliter le chargement, de rendre la descente plus régulière dans le haut, la section étant moindre, et aussi, quand les hauts fourneaux sont à air libre, d'empêcher l'action du vent sur les matières en combustion, action qui peut faire varier la température dans les différents endroits et amener une descente des matières irrégulière.

### QUATRIÈME PROBLÈME.

*Étant donné du fer, le convertir en acier.*

Il y a deux solutions du problème, par la raison que l'on peut se proposer, ou de

Digitized by Google

saturer simplement le fer à une certaine température, ou de fabriquer de l'acier fondu.

Dans le premier cas, il suffit, comme nous l'avons dit (page 16), de maintenir, pendant un temps déterminé par l'épaisseur des barres de métal, à une certaine température correspondant au degré de saturation voulu, du fer et du charbon de bois enfermés dans un vase aussi hermétiquement clos que possible à l'action de l'air extérieur.

Dans le second cas, il suffit de faire fondre dans un creuset *ad hoc* un mélange de fer et charbon de bois en proportions déterminées par le degré de saturation que l'on veut obtenir.

Si le fer est chimiquement pur, on obtient, dans les deux cas, un acier de première qualité; seulement, dans le second cas, il est toujours plus homogène que dans le premier, non-seulement parce que le fer en barre, par suite de son mode de fabrication, est toujours impur mécaniquement et renferme de l'oxyde intercalé, qui, en présence du carbone, se décompose et forme des ampoules d'oxyde de carbone, mais encore et surtout parce que la loi même, en vertu de laquelle s'opère la cémentation, veut que la carburation soit légèrement croissante depuis le centre des barres jusqu'à la surface.

Or l'homogénéité est un des moyens les plus puissants pour engendrer ce qu'on nomme le *corps* et n'est réellement que la qualité des aciers trempés. Un exemple suffira pour en convaincre le lecteur :

Prenez de l'acier fondu à outils, qualité ordinaire, et faites en un *marteau de moulin*. (On nomme marteaux de moulin les marteaux à l'aide desquels les meuniers aiguisent leurs meules; ce sont des marteaux à deux tranchants, trempés durs et non recuits.) Si vous essayez de vous servir de ce marteau sur une meule, vous n'aurez pas donné cinq coups, que déjà le tranchant de votre marteau aura *grené*, c'est-à-dire se sera ébréché, et aura ainsi accusé son absence de corps ou ténacité. Reprenez du même acier fondu et faites-le refondre de nouveau, puis faites-en encore un marteau de moulin : cette fois il résistera parfaitement à l'épreuve du travail et constituera un produit livrable au commerce pour cet usage.

On voit, d'après cela, que si l'acier cémenté, puis corroyé, si recherché par certaines industries, notamment le charronnage, ne se comporte pas comme le premier marteau de moulin sus-mentionné, c'est que cet acier est très-peu carburé; mais encore faut-il que le fer avec lequel on le fabrique soit de première qualité. Mais si la fusion est une cause d'homogénéité et, par conséquent, de corps pour les aciers très-saturés de carbone, il faut reconnaître que la simple fusion du fer avec du charbon de bois ne peut être un produit réellement homogène qu'autant que le bain de métal est maintenu longtemps liquide avant la coulée en lingots.

En effet, la réaction du carbone sur le fer ne peut se faire également partout, dans le creuset, qu'autant que le carbone y est lui-même également réparti, ce qui est impossible.

Mélanger du fer et du carbone dans un creuset pour fabriquer un acier homogène est donc un procédé par lequel on s'expose à être obligé de refondre une seconde fois une bonne partie de l'acier déjà fondu, si, pour une cause ou pour une autre, l'acier fondu la première fois n'est pas resté suffisamment longtemps liquide pour que le carbone s'y répartisse également.

Deux fusions coûtant plus qu'une cémentation et une fusion, et la cémentation ayant pour effet d'opérer une première répartition, inégale il est vrai, du carbone dans le métal, il convient, quand on veut fabriquer des aciers fondus à outils ou autres exigeant du corps, de fondre de l'acier cémenté pur de préférence au mélange de fer et carbone, qui est tout au

Digitized by Google

plus bon pour les aciers inférieurs. Les frais sont plus grands en apparence, mais, en réalité, ils sont infiniment moindres.

### CINQUIÈME PROBLÈME.

*Étant donné du fer, le convertir en fonte.*

Au premier abord, ce problème paraît aussi oiseux que ceux qui le précèdent sont intéressants. C'est qu'en effet il n'aurait réellement besoin d'être résolu directement que s'il existait des cas, dans l'industrie, où il faut une fonte parfaitement pure. Or ces cas n'existent pas à notre connaissance. Le lecteur sait, du reste (page 57), comment il faut s'y prendre pour obtenir cette fonte, qu'on peut appeler de laboratoire.

Mais, si la conversion du fer en fonte est étrangère à l'industrie en général, il n'en est plus de même lorsqu'il s'agit d'augmenter la ténacité de fontes trop grises en les fondant avec de la ferraille.

Nous avons dit (page 21) qu'il y a, pour les fontes grises, un degré de carburation correspondant à leur maximum de ténacité, et que ce degré de carburation était inférieur au maximum de saturation.

Lors donc que l'on veut décarburer la fonte au moyen du fer, c'est-à-dire convertir ce dernier en fonte au moyen d'une autre fonte, on prend de préférence de vieilles ferrailles, ni trop grosses ni trop petites, ayant, en moyenne, 5 millimètres d'épaisseur ou 6 millimètres de diamètre. En les prenant plus grosses, on s'expose à ne pas les dissoudre complétement fondu, à moins que la fusion ait lieu au *cubilot*. Dans cet appareil, en effet, dans le métal on convertit en fonte même du fer pur.

On emploie aussi le mélange de la ferraille avec la fonte, pour la faire tremper, quand cette dernière est phosphoreuse; mais alors il faut fondre le mélange au *cubilot*, dont le combustible, qui est toujours du coke, introduit dans le métal une quantité assez notable de soufre. Par ce moyen, d'une part, le phosphore perd de son influence, étant réparti sur une plus grande masse de métal; de l'autre, le soufre (page 51) apporte la sienne, et, en coulant en *coquille*, on obtient des pièces trempées superficiellement et à une épaisseur variable.

### SIXIÈME PROBLÈME.

*Étant donné de l'acier, le convertir en fer.*

Le fer étant un métal infusible, industriellement parlant, il peut se présenter des cas où il est indispensable qu'il se trouve dans les conditions de pureté mécanique et d'homogénéité que la fusion seule peut lui communiquer.

Le moyen d'obtenir ce résultat industriellement, d'une manière aussi satisfaisante que si on fondait le métal pur, consiste à faire un lingot d'acier fondu, à étirer ce lingot en plat, de 18 à 20 millimètres au plus d'épaisseur, et de le cémenter, pendant au moins trente jours, dans un oxyde métallique, à l'abri du contact de l'air.

L'oxyde de zinc pur nous paraît, dans ce cas, préférable à tout autre, par cette raison que, au fur et à mesure que la réaction superficielle a lieu, le zinc, réduit à l'état métallique, s'évapore et laisse en contact avec le métal de nouvelles couches d'oxyde non décomposé, ce qui est

Digitized by Google

utile pour la réaction à grande distance, comme dans le cas présent. Une partie du zinc se dissout, il est vrai, dans le métal, mais une chaude suante, après la cémentation, suffit pour l'en faire évaporer complétement.

### SEPTIÈME PROBLÈME.

*Étant donnée de la fonte, la convertir en fer.*

La fonte étant un composé fusible, ses lingots sont des produits *mécaniquement* purs. Si la fonte était elle-même chimiquement pure, c'est-à-dire exclusivement composée de fer et de carbone, on pourrait la convertir en fer en la cémentant dans un oxyde métallique en vase clos. Mais, outre que ce procédé de fabrication est très-dispendieux, la fonte n'est jamais pure; elle contient toujours au moins du silicium, dont on ne peut la débarrasser qu'en la décarburant liquide (page 49).

Comme pour la plupart des réactions que nous venons de passer en revue, il existe deux procédés de décarburation de la fonte pour la convertir en fer, suivant que le chauffage et la réaction se font dans le même appareil ou dans des appareils différents.

Quand le chauffage et la réaction se font dans le même appareil, cet appareil porte le nom de *feu d'affinerie*.

Quand le chauffage et la réaction se font dans deux appareils distincts, l'ensemble de ces appareils porte le nom, déjà cité (page 59), de four à puddler.

La décarburation de la fonte étant une opération qui n'exige, pour être possible, que du calorique et un oxyde métallique, la réunion du chauffage et de la réaction, comme lorsqu'il s'agit de désoxyder, paraît, au premier abord, irrationnelle. Il est, en effet, difficilement concevable, de prime abord, que la fonte qui a traversé dans le haut fourneau un courant d'air énergique sans se décarburer puisse se décarburer en présence du carbone. Le fait est encore plus surprenant quand on apprend qu'il n'est même pas nécessaire de faire usage d'oxyde de fer ou autre pour opérer la décarburation. C'est pourtant ce qui a lieu, comme nous l'allons voir.

#### 1° Du feu d'affinerie.

Le feu d'affinerie est une petite capacité soufflée par une tuyère, dont l'inclinaison est variable et joue un grand rôle dans le produit obtenu.

On remplit cette capacité de charbon incandescent, puis, quand la tuyère a suffisamment élevé sa température, on dépose dessus la fonte que l'on veut convertir en fer. Cette fonte entre en fusion, s'écoule en gouttelettes au travers du charbon de bois et du courant d'air lancé par la tuyère et se dépose au fond de la capacité ou *creuset*; seulement il faut remarquer ici que ce fond représente à peu près l'équivalent de la surface supérieure du bain dans le creuset du haut fourneau.

On ne peut donc mieux comparer le creuset du feu d'affinerie qu'à un ouvrage de haut fourneau. Augmentez suffisamment la profondeur de ce creuset sans toucher à la tuyère, et immédiatement vous recueillerez au fond de la fonte, comme dans le cubilot; mais laissez-la telle qu'elle vient d'être définie, et vous obtiendrez, non de la fonte, mais du *fer*, de l'*acier* ou un mélange de l'un et l'autre.

Digitized by Google

C'est qu'en effet, dans le haut fourneau, quand le creuset est plein, comme dans le feu d'affinerie, si la surface du bain n'est pas recouverte d'un silicate neutre liquide, le vent des tuyères ne se porte pas seulement sur le carbone, il rase la surface du bain et oxyde toutes celles de ses parties qui ne sont pas en contact immédiat avec le carbone. Cette oxydation a pour effet d'engendrer le réactif nécessaire à la décarburation du métal, et, à mesure que ce réactif est ramené à l'état métallique par le carbone de la fonte, le vent le réoxyde de nouveau. Voilà pour le principe de l'opération ; maintenant voulons-nous l'accélérer? rien de plus simple. Au lieu d'une quantité d'oxyde déterminée par l'étendue de la surface libre du bain, il nous suffit, pour en avoir deux, de faire écouler le premier par un trou pratiqué *ad hoc* dans la plaque de devant du four, puis, quand il est solidifié, de le placer en mélange avec la fonte solide sur le charbon incandescent; là il se réduit à l'état métallique et s'acière, tant au contact de la fonte qu'à celui du carbone à haute température; il fond et va se mêler à l'acier déjà formé dans le creuset, et ainsi de suite.

Si la fonte est très-siliceuse, il convient de ne pas utiliser, de la manière que nous venons d'indiquer, le premier laitier qui s'écoule, parce que ce laitier est un silicate tantôt neutre, tantôt acide, qui, loin d'accélérer l'opération, la retarderait; mais si ce premier laitier, qu'on reconnaît facilement à sa liquidité aqueuse, est mauvais, il ne tarde pas à s'en présenter d'autres qui remplissent les conditions voulues.

Quand l'ouvrier, en sondant le métal aggloméré au fond du creuset, reconnaît, à sa résistance, qu'il est intégralement solide, c'est-à-dire passé de l'état de fonte à l'état d'acier, il a recours à un nouveau moyen d'accélérer l'opération. Ce moyen, que l'on nomme improprement l'*avalage de la loupe*, consiste à soulever le gâteau d'acier avec un ringard et à le replacer au-dessus du charbon incandescent. Ce qui a eu lieu précédemment pour la fonte et l'oxyde réduit se passe de nouveau pour l'acier. Il convient seulement alors de développer le plus de température possible, vu le peu de fusibilité du métal. Cette température s'obtient au moyen d'un vent rendu plus énergique par l'ouverture en plein du registre qui l'amène.

Le reste va de soi. Si on fait couler souvent le laitier, qui devient de plus en plus gras, on décarbure de plus en plus le métal et on arrive, finalement, à faire une boule de fer plus ou moins à grain, suivant la qualité de la fonte.

Afin de faire le moins de déchet possible, il convient de toujours remettre sur le charbon incandescent la scorie douce qu'on retire, pendant l'opération, par le *trou de chio*.

En indiquant ce qu'il faut pour faire du fer, nous indiquons en même temps ce qu'il faut pour faire de l'acier. Ainsi il est évident que, dans ce dernier cas, l'avalage de la loupe n'est utile que si on veut produire un acier très-doux; encore faut-il alors que l'on ne fasse plus couler le laitier. Pour l'acier ordinaire, dit acier de forge, on supprime complétement l'avalage de la loupe.

### 2° Du four à puddler.

Le four à puddler est réellement le procédé rationnel de décarburation de la fonte. Vous mettez, sur une sole convenablement échauffée, de la fonte et un oxyde métallique en proportions convenables; vous les mélangez le mieux possible, et, quand la réaction à laquelle donne lieu la température est terminée, vous retirez des boules de fer agglomérées et imprégnées de silicates divers, liquides, dont vous les débarrassez au moyen d'un cinglage énergique.

Digitized by Google

L'oxyde métallique peut-il être quelconque? Telle est la question qu'il s'agit de traiter ici.

S'il s'agit de fabriquer du fer pur et non un alliage de fer et d'un autre métal, il n'y a que deux oxydes convenables, savoir :

L'oxyde de fer, parce que sa réduction, à l'état métallique, donne du fer;

L'oxyde de zinc, parce que, réduit à l'état métallique, il se volatilise.

Mais l'oxyde de zinc a une valeur appréciable, même à l'état de calamine. On pourrait même ajouter que le silicate de zinc étant infusible, celui qui se forme pendant sa réaction doit nuire à la pureté mécanique du métal; mais ce n'est pas un silicate pur qui se forme, c'est toujours un silicate double de zinc et de fer qui est fusible, ce qui rend cette objection sans valeur.

L'oxyde de fer, tel qu'on le rencontre dans la nature, n'est pas pur et peut introduire, dans le métal, des matières étrangères qui nuisent à sa qualité; de plus, il a aussi une valeur, quelque petite qu'elle soit.

Mais il n'est pas nécessaire d'aller chercher au loin l'oxyde qu'exige la décarburation de la fonte dans le four à puddler. Cet oxyde existe dans le four à puddler lui-même comme dans le feu d'affinerie.

La flamme provenant de la combustion dans le foyer entraîne toujours avec elle une certaine quantité d'oxygène non brûlé qui se porte sur le métal déposé sur la sole du four et l'oxyde. Le résultat de cette oxydation est de commencer la décarburation très-activement tant que la fonte n'est pas en fusion. Il s'ensuit immédiatement une formation de silicate liquide, d'autant plus riche en oxyde que la fonte l'est moins en silicium; puis, quand le bain est fondu, la réaction se ralentit; on pourrait même dire qu'elle s'arrête; c'est alors seulement qu'il est nécessaire d'avoir recours à d'autres scories douces, dont nous allons parler, si on veut accélérer l'opération.

Les premières, que l'on nomme *crassès des marteaux cingleurs*, sont celles que crachent les boules de fer puddlé quand on les cingle. Ces scories sont toujours douces, non-seulement parce qu'elles restent attachées au métal quand on le retire du four, mais encore parce qu'elles se forment, en partie, au contact de l'air pendant le temps que met le métal à aller du four au marteau.

Les secondes, appelées *crasses des laminoirs*, sont celles qui tombent sous les laminoirs quand on y passe des paquets soudés au blanc; ce sont, aux laminoirs ébaucheurs, des scories douces, et, aux laminoirs finisseurs, de la battiture parfaitement pure.

Les troisièmes, qui n'ont pas de nom spécial, parce qu'elles ont des origines diverses, sont celles qui constituent la sole même du four à puddler.

Nous avons vu (page 59) que, pour faire du fer avec le minerai, dans le four à puddler, il fallait une sole carburante, ou au moins neutre. Ici il n'en est plus de même, et, loin d'être carburante, la sole doit être oxydante, ou au moins neutre.

Faute de sole carburante, pour le minerai on emploie la sole neutre; pour la fonte, au contraire, on a le choix, et naturellement on prend la sole oxydante.

Au lieu donc de se faire en argile, la sole du four à puddler se fait soit en silicate aussi basique que possible, soit en battiture pure.

Digitized by Google

Dans le premier cas, on emploie du laitier de four à souder le fer, qui est un silicate à composition très-variable.

Dans le second cas, on remplit le four de ferrailles minces qu'on chauffe sec, au moyen d'un combustible à courte flamme, et qui ne tardent pas à se convertir en deutoxyde liquide. Cette sole est excellente, mais elle coûte fort cher, sa confection exigeant près de 1,500 kilog. de menues ferrailles.

Lors donc que la fonte est en fusion dans un four à puddler, si on a soin de projeter dessus des crasses de marteau et de laminoir, elle se trouve entre deux couches décarburantes très-propres à la réduire en fer; si à cela on ajoute un vigoureux brassage qui renouvelle sans cesse les surfaces en contact, on comprend qu'elle ne tarde pas à se convertir d'abord en acier, ensuite en fer.

### HUITIÈME ET DERNIER PROBLÈME.

*Étant donnée de la fonte, la convertir en acier.*

Comme nous venons de le voir, la conversion de la fonte en acier est la première étape de la conversion de la fonte en fer. Il suffit donc, pour résoudre le présent problème, de résoudre seulement la première partie du précédent.

Mais convient-il, pour faire de l'acier, de suivre cette voie? Voilà ce qu'il importe de bien examiner ici.

Nous avons dit (page 49) que le silicium, à l'état de dissolution dans le fer, se comportait, chimiquement parlant, comme le carbone, c'est-à-dire n'abandonnait le métal qu'autant que le carbone l'abandonnait lui-même.

Il résulte de là que, une fonte étant donnée, comme toutes les fontes contiennent du silicium, si on veut purger complétement le métal de ce corps, il faut lui enlever aussi tout le carbone qu'il contient. S'il reste du carbone, il restera du silicium.

Or, nous l'avons dit (page 50), les aciers qui contiennent du silicium ne comportent la trempe qu'autant que l'usage auquel on les destine ne nécessite ni une grande élasticité ni une grande ténacité. Les *aciers naturels*, c'est-à-dire extraits directement de la fonte, ne peuvent donc être classés, quelque supérieure que soit la fonte d'où ils sortent, que dans les *aciers communs*.

Comme il se consomme, surtout aujourd'hui, dix fois autant d'*acier commun* que d'*acier fin*, cette proscription des aciers naturels serait de peu d'importance, si on pouvait les obtenir homogènes. Mais il n'en est malheureusement rien; tous les aciers naturels sont des mélanges de fer et d'acier très-irrégulièrement saturé, ce qui fait que leur emploi est restreint à la fabrication d'outils pour travailler le bois ou piocher la terre. Pour les employer sur une grande échelle, il faut les fondre avec du charbon de bois, opération que le carbone qu'ils contiennent déjà rend assez pratique.

Mais, si la conversion directe de la fonte en acier donne des résultats peu satisfaisants, il en est tout autrement quand il s'agit de fabrication de fer en barres et tôles. Pour bien faire comprendre au lecteur le rôle important que joue le carbone dans la fabrication du fer mar-



Digitized by Google

chand et de la tôle, il faudrait entrer dans des détails dont la place n'est pas ici. Qu'il nous suffise de dire que, comme le fer sortant des appareils d'affinage est toujours mécaniquement impur, le carbone de l'acier naturel a pour effet de réduire à l'état métallique toutes les pailles d'oxyde intercalées et de favoriser ainsi la soudabilité du métal, en décapant les surfaces en contact. En outre, il rend le fer plus tendre à chand, ce qui lui permet de souder à plus basse température et occasionne moins de déchet; enfin il combat la formation du fer brûlé.

La fabrication de l'acier naturel est donc très-intéressante au point de vue de la fabrication du fer pour le commerce.

Nous ne reviendrons pas sur ce que nous avons dit, dans l'article précédent, sur les moyens de décarburer la fonte pour la convertir en acier. Nous ajouterons seulement quelques mots sur deux procédés de fabrication de l'acier naturel, dont l'un, ancien, que l'on nomme *procédé Rivois*, n'est praticable qu'autant que le produit qui en résulte peut être vendu comme acier, et l'autre, nouveau, que l'on nomme *procédé Besmer*, n'a pas encore donné de résultats assez positifs pour qu'on puisse émettre une opinion sur sa valeur.

Le *feu Rivois* est une application de ce que nous disions (page 66) concernant l'action du vent dans les hauts fourneaux sur la fonte contenue dans le creuset. Il n'y aurait même rien d'étonnant qu'il ait été imaginé à la suite d'une observation semblable faite par son inventeur.

Voici comment on procède :

On brasque, avec du charbon de bois bien mouillé et bien comprimé, une capacité en briques pouvant contenir de 1,100 à 1,200 kilogr. de fonte liquide. Cela fait, on remplit ladite capacité de charbon de bois allumé, et on souffle d'en haut avec une tuyère très-peu plongeante. Quand le charbon est bien allumé au centre, on y projette des morceaux de fonte, et par-dessus cette fonte on met une pyramide de charbon de bois. La fonte entre en fusion et descend au fond du creuset; on en ajoute d'autre, jusqu'à ce que le niveau de la fonte liquide affleure le bec de la tuyère.

A ce moment, on commence à projeter des scories douces qui fondent et viennent couvrir la surface du bain. Le vent continuant à souffler, l'ouvrier plonge un ringard dans le bain, et l'agite de manière à renouveler les surfaces de fonte et d'oxyde en contact. Au bout de quelque temps, le métal commence à se solidifier à la surface; alors l'ouvrier le réunit et forme une première boule qu'il cingle immédiatement, puis en vient faire une seconde, toujours en ajoutant de la crasse nouvelle provenant de la boule qu'il vient de cingler. En procédant ainsi jusqu'à la fin et en inclinant de plus en plus la tuyère, il arrive, au bout de trente heures, à avoir converti sa charge de fonte en 35 ou 40 boules d'acier naturel, pesant de 25 à 30 kilogrammes chaque.

Quand les boules sont cinglées, on les fait *ressuer* dans un four à réverbère, et on les recingle pour les souder et les épurer complétement. Or il arrive que, quand on replace les boules sous le marteau pour les cingler plus énergiquement que la première fois, les unes se soudent parfaitement, tandis que d'autres se brisent. Ce qui est très-curieux, c'est que les boules qui se cinglent bien sont les mauvaises, tandis que les boules qui se cinglent mal sont, sinon les bonnes, mais bien près d'être bonnes.

En effet, les boules qui se cinglent bien sont de l'acier ferrugineux, tandis que celles qui se

Digitized by Google

cinglent mal sont de l'acier fonteux. Pour qu'une boule soit bonne, il faut qu'elle soit difficile à cingler, mais finisse par se laisser faire. Il est rare que, sur une charge de 30 à 40 boules sortant du feu, il ne s'en rencontre pas des trois qualités.

Quand les boules sont ferrugineuses, on les emploie à la fabrication du fer en barres qui, dans ce cas, est presque toujours à grain et de qualité supérieure.

Quand les boules sont fonteuses, on les remet dans le four à ressuer, puis sous le marteau, puis au four jusqu'à ce qu'enfin elles soudent.

Il y a des boules qui rentrent jusqu'à dix fois dans le four à ressuer. Ce sont les meilleures ; mais elles doivent coûter cher de déchet.

Du reste, comme les fontes que l'on emploie pour ce procédé sont de qualité supérieure, les fers et aciers qui en résultent sont excellents à la dureté et à l'homogénéité près. Ils conviennent très-bien pour le corroyage.

Le *procédé Besmer* est plus radical. Il consiste simplement à engendrer, au moyen de courants d'air traversant le métal liquide de part en part, et l'oxyde de fer nécessaire à la décarburation du métal et le calorique sans lequel la réaction ne peut avoir lieu.

C'est le métal qui est le combustible ; c'est le produit de la combustion qui est le réactif.

En admettant que 100 kilogrammes de fonte contiennent 5 kilogrammes de carbone, et qu'il faille en enlever 4 pour la constituer à l'état d'acier moyennement dur, il faut (page 36), pour saturer ces 4 kilogrammes de carbone, 5k,30 d'oxygène, soit 15 kilogrammes environ de deutoxyde de fer.

De combien faut-il dépasser les 10 kilogrammes de métal nécessaires à la décarburation pour produire la température n re à la réaction? C'est ce que l'expérience seule dira. Nous observerons seulement que, si ce chiffre dépasse de beaucoup 10 kilogrammes, non-seulement il constituera un déchet notable, mais encore il rendra impossible la conversion de la fonte en acier par suite de la réaction qui se continuera et donnera du fer.

M. Besmer prétend que la combustion du fer produit une température si élevée, qu'on obtient, fondu et bon à couler en lingotières, non-seulement l'acier, mais encore le fer.

Nous formons les vœux les plus ardents pour la réussite de ce procédé, mais nous espérons peu en lui.

Digitized by Google

## II. — DE LA MÉTALLURGIE DU FER CONSIDÉRÉE COMME ART ET COMME INDUSTRIE.

Considérée comme *art* ou comme *industrie*, la *métallurgie du fer* a pour but la fabrication du *fer* et de ses *alliages* avec le *carbone*.

Quel que soit celui de ces produits qu'il s'agit d'obtenir, la fabrication se compose toujours de deux séries distinctes d'opérations, savoir :

La génération du produit brut,

La préparation du produit fini.

En ce qui concerne la *génération du produit brut*, nous venons de voir, en considérant la métallurgie comme *science*, que, des *neuf* problèmes qu'on peut se proposer de résoudre, il en est trois, les *cinquième*, *sixième* et *septième*, qui sont d'un intérêt tout à fait secondaire et ne comportent de solution pratique que dans des circonstances tout à fait exceptionnelles; les *six* autres, au contraire, sont d'un intérêt immédiat, en ce sens qu'ils ont pour solution pratique les divers procédés de génération adoptés par la fabrication.

Or, quelle que soit la matière première employée, le produit brut étant toujours l'une des trois substances : *fer*, *acier* ou *fonte*, il en résulte que, énoncés différemment, ces *six* problèmes se réduisent à trois principaux, qui sont :

1° La génération du *fer* brut,

2° La génération de l'*acier* brut,

3° La génération de la *fonte* brute.

Pour déterminer par quel de ces trois produits nous devons commencer, il nous suffit de remarquer que, dans les six problèmes ci-dessus mentionnés,

1° La *fonte* figure comme matière première dans la génération du *fer* et de l'*acier* sans que la réciproque ait lieu;

2° Le *fer* figure comme matière première dans la génération de l'*acier* sans que la réciproque ait lieu.

C'est dire que l'étude de la fabrication du *fer* et de ses alliages avec le carbone doit se faire dans l'ordre suivant, savoir :

1° Fabrication de la fonte,

2° Fabrication du fer,

3° Fabrication de l'acier.

Digitized by Google

En ce qui concerne la *préparation du produit fini*, nous ferons remarquer que, *purs* ou *impurs*, le *fer*, l'*acier* et la *fonte* ne jouissent de propriétés différentes que parce que les proportions de carbone, libre ou allié, que renferme le métal sont elles-mêmes différentes.

Or, parmi ces propriétés différentes, les plus caractéristiques, au point de vue de la fabrication, sont les suivantes, savoir :

1° L'*acier* et la *fonte* sont *fusibles*, tandis que le *fer* ne l'est pas;

2° Le *fer* et l'*acier* sont *malléables* et *soudables*, tandis que la fonte ne l'est pas.

Il en résulte que

La préparation de la *fonte* finie n'est pas la même que celle du *fer* fini, tandis que la préparation de l'*acier* fini peut s'effectuer d'une manière analogue, soit à celle de la *fonte* finie, soit à celle du *fer* fini.

Il n'y a donc, réellement, que deux types de préparation du produit fini, savoir :

La *fusion* et le *corroyage*.

Sous ce rapport comme sous celui de la génération des produits bruts, il y a, comme on le voit, avantage à traiter de la fabrication de l'*acier* après celles de la *fonte* et du *fer*, puisque la préparation de ce produit n'est, à proprement parler, qu'un cas particulier des préparations des deux autres.

En résumé, les fabrications du *fer* et de ses alliages avec le *carbone* se composent de deux étapes qui sont :

Première étape. — Génération du produit brut, variant suivant la matière première employée.

Deuxième étape. — Préparation du produit fini soit par *fusion* et *moulage* quand il s'agit de *fonte*, soit par *corroyage* quand il s'agit de *fer*, soit par *fusion* et *moulage*, *fusion* et *étirage*, ou *corroyage* seulement, quand il s'agit d'*acier*.

La préparation de la fonte finie, c'est-à-dire convertie en pièces moulées, étant une industrie qui marche de pair avec le *fer ouvré*, notre intention n'est pas d'en traiter dans cet ouvrage, l'ayant déjà fait, surtout, dans notre *traité de la construction des machines à vapeur*. Ce que nous nous proposons ici, c'est de traiter de la fabrication du fer et de ses alliages tels qu'ils se livrent au commerce. C'est pourquoi nous avons cru ne pas devoir nous en tenir aux trois produits précités et y ajouter le fer-blanc, ce qui constitue quatre parties principales dont les véritables titres sont :

PREMIÈRE PARTIE. — De la *génération* de la *fonte*.
DEUXIÈME PARTIE. — De la *fabrication* du *fer*.
TROISIÈME PARTIE. — De la *fabrication* de l'*acier*.
QUATRIÈME PARTIE. — De la *préparation* du *fer-blanc*.

Digitized by Google

Digitized by Google

# PREMIÈRE PARTIE.

## DE LA GÉNÉRATION DE LA FONTE.

La génération de la fonte est la solution pratique du troisième problème (page 63) de la métallurgie considérée comme science, et dont l'énoncé est :

Étant donné du *minerai de fer*, le convertir en *fonte*.

Cette conversion s'effectue, avons-nous dit, dans un appareil spécial qui porte le nom de *haut fourneau*, et à l'aide d'autres appareils secondaires que nous définirons plus loin.

Les matières premières de la réaction sont l'oxyde de fer et le carbone pur ou combiné soit avec l'hydrogène, soit avec l'oxygène. Mais, comme ces matières premières sont empruntées à la nature, elles portent avec elles certaines autres substances qui modifient les résultats, et dont, pour cette raison, il est indispensable de tenir compte. Avant donc de traiter des appareils et du travail qu'ils comportent, nous allons passer en revue ces matières, tant comme produits naturels que comme réactifs.

## TITRE PREMIER.

### DES MATIÈRES PREMIÈRES.

Les matières premières de la génération de la fonte sont au nombre de quatre, savoir :

1° Les minerais de fer,
2° Les fondants,
3° Les combustibles,
4° Le vent forcé.

Digitized by Google

# CHAPITRE PREMIER.

## DES MINERAIS DE FER.

Nous comprendrons, sous la dénomination de *minerais de fer*, toutes les substances dont on extrait le métal, pur ou carburé, en les traitant, soit dans les *hauts fourneaux*, soit dans les *foyers catalans*, et en général dans tous les appareils qui ont pour but la génération du *fer*, de l'*acier* ou de la *fonte*.

Chimiquement parlant, on ne considère comme *minerais de fer* que les substances qui contiennent ce métal pur ou combiné à d'autres corps que l'on ne peut facilement éliminer.

Ainsi, les *sulfures* et les *phosphures* de fer, si répandus dans la nature, ne peuvent être considérés comme minerais de fer, parce que le *soufre* et le *phosphure* sont deux corps simples qui, combinés au fer, ne peuvent en être séparés qu'à l'aide de moyens extrêmement compliqués. Mais, s'ils ne peuvent être considérés comme minerais, ils peuvent, néanmoins, figurer dans ces derniers en petite quantité, et leur présence, ainsi que celle d'autres corps de même affinité pour le métal, n'est point une cause absolue de rebuts; seulement elle influe plus ou moins sur la qualité du produit obtenu.

Par suite de cette considération, on ne considère comme minerais de fer que les substances plus ou moins mélangées de *gangue* inoffensive, contenant le métal

1° A l'état de pureté,
2° A l'état d'oxyde,
3° A l'état de carbonate,
4° A l'état de silicate.

Le fer, à l'état de *pureté*, ne se rencontre guère que dans les *aérolithes*, allié à d'autres métaux.

Il existe cependant, en petite quantité, suivant *M. Huot*, dans les filons de fer carbonaté (sidérose) à Kamsdorf en Saxe; à Jorgany en Bohème; à la montagne du Grand-Albert, paroisse d'Oulle, à deux lieues d'Allemond (Isère); dans les mines d'étain, entre Eibenstock et Iohan-Georgenstadt en Saxe; dans du grenat brun à Steinbach en Saxe; dans les pyrites d'Amérique; on en trouve mélangé avec du graphite, à la montagne de Scholey, près de Canaxu, dans l'État de New-York. On trouve aussi du fer métallique, soit dans les produits volcaniques, comme à la montagne de Graveneire, près de Clermont (Puy-de-Dôme), soit dans les produits de houillères embrasées, comme à Labouiche près de Néris (Allier).

Mais nulle part il n'est assez abondant pour être exclusivement exploitable; sa présence dans les minerais ne peut donc être considérée comme une richesse servant à expliquer pourquoi certains d'entre eux rendent plus que leur composition n'indique.

Dans les trois autres États, au contraire, le fer se rencontre dans une foule de localités et constitue les principales variétés de minerais exploités, savoir :

1° Le fer oxydulé,
2° Le fer oligiste,
3° Le fer oxydé rouge,
4° Le fer carbonaté,
5° Le fer siliceux.

Digitized by Google

§ 1er. Du fer oxydulé.

Le fer oxydulé, dit *oxyde magnétique*, parce qu'il a une forte action sur le barreau aimanté, est un composé de fer et oxygène, d'un noir brillant, à cassure couchoïde ou ondulée, donnant une poussière noire ou d'un brun très-foncé.

Si on considère ce minerai comme du deutoxyde, ayant pour composition (Cahours, § 676) $Fe\,O + Fe^{2}O^{3}$, on le trouve composé de :

| | | |
|---|---|---|
| $3\,Fe \times 350 =$ | 1,050 | 72,50 |
| $4\,O \times 100 =$ | 400 | 27,60 |
| | 1,450 | 100,00 |

Or, d'après *M. Walter de Saint-Ange* (tome 1er, page 2), ce minerai contient de 80 à 90 pour 100 de métal. Il convient donc de le considérer plutôt comme un sous-oxyde de fer analogue à celui qui fut obtenu par *M. Marchand* en 1839 (Berzélius, tome 2, page 666). En effet, le sous-oxyde de *M. Marchand* est noir et a pour composition :

| | | |
|---|---|---|
| $4\,Fe \times 350 =$ | 1,400 | 93,50 |
| $O \times 100 =$ | 100 | 6,50 |
| | 1,500 | 100,00 |

Il se trouve dans les terrains primitifs en filons, couches, masses, fragments, grains et sables. Les seuls pays où on l'exploite, parce qu'il y est abondant, sont la *Sibérie*, la *Laponie* et la *Suède;* on le rencontre aussi en *Norwége*, en *Piémont*, en *Hongrie*, aux *monts Ourals*, dans les *Alpes* et dans les *Vosges*.

On l'exploite à l'état de sable dans le royaume de *Naples*. C'est le minerai le plus riche et le plus pur que l'on connaisse; aussi les fers qui en proviennent sont-ils exclusivement réservés pour la fabrication des aciers fins.

§ 2. Du fer oligiste.

Le fer *oligiste* est gris noir ou gris d'acier, affectant quelquefois l'éclat métallique. Sa cassure est fibreuse, divergente et quelquefois lamelleuse; sa poussière est d'un rouge brun foncé; il raye le verre et s'écrase difficilement.

D'après M. Walter de Saint-Ange, ce fer contient, en roche, de 60 à 80 pour 100 de métal. Or, son action sur le barreau aimanté étant à peu près nulle, on ne peut admettre qu'il est un deutoxyde.

D'un autre côté, si on admet, avec *M. Walter*, qu'il est un mélange de *fer oxydé* et d'*oxydule*, sa teneur en métal exige qu'il y ait environ moitié de sous-oxyde, ce qui nous paraît inexplicable. Aussi pensons-nous que tous les composés riches de fer et oxygène, que l'on rencontre dans la nature, sont bien plutôt des dissolutions d'oxygène dans un oxyde non encore défini, ou du fer incomplétement oxydé, plutôt que des combinaisons définies, comme l'admettent les minéralogistes. La composition des battitures, qui contiennent plus d'oxygène à la surface extérieure qu'à la surface intérieure, donne raison à cette manière de voir.

Le fer oligiste se rencontre à l'*île d'Elbe*, à *Framont*, dans les Vosges, dans quelques pays des Pyrénées, etc. Le fer qui en résulte est, à très-peu près, d'aussi bonne qualité que celui qu'on retire de l'oxydule.



Digitized by Google

§ 3. Du fer oxydé rouge.

Le fer oxydé rouge est le sesquioxyde de fer, ayant pour formule $Fe^2 O^3$, et pour composition :

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2 Fe | × 350 = | 700 | 70 |
| 3 O | × 100 = | 300 | 30 |
| | | 1000 | 100 |

Les variétés qu'on exploite comme minerais sont :

1° L'*hématite rouge*, que l'on rencontre à *Baigorry* (Basses-Pyrénées), *Framont* (Vosges), en Silésie, en Angleterre, etc. ;

2° Le *peroxyde compacte*, que l'on rencontre dans plusieurs départements, notamment à la Voute (Ardèche), ainsi qu'en Allemagne, en Syrie, en Angleterre, etc. :

3° L'*oxyde rouge, ocreux ou tendre*, que l'on rencontre, en général, mélangé aux précédents et en couches de faible épaisseur.

Le fer oxydé rouge, tel qu'il se rencontre dans sa nature, contient, suivant son état de pureté mécanique, de 35 à 60 p. 0/0 de fer, le maximum théorique étant 70. Pour l'obtenir pur, il suffit de calciner fortement du sulfate de fer ; partie de l'acide sulfurique est décomposée en oxygène, qui se porte sur le métal, et en acide sulfureux ; l'autre partie s'évapore et, condensée dans un récipient, constitue l'acide sulfurique de *Nordhausen*. La réaction est la suivante :

$$2\,(SO^3\,Fe\,O) = Fe^2\,O^3 + SO^3 + SO^3$$

Nous indiquons le moyen d'obtenir le peroxyde pur, parce que, dans les essais par la voie sèche, il est bon de se composer un culot type pour apprécier exactement les rendements des minerais en fonte ; le sesquioxyde pur est, à notre avis, le plus convenable pour cela, parce qu'il a une composition parfaitement définie.

§ 4. Du fer oxydé hydraté.

Le *fer oxydé hydraté* pur, dont la couleur est *jaune* tantôt clair, tantôt *foncé*, calciné fortement, perd environ 15 p. 0/0 d'eau et se convertit en *peroxyde rouge*. *Berzélius* le considère comme une combinaison de trois atomes d'eau et de deux atomes de sesquioxyde, dont la formule est $3\,H^2\,O + 2\,Fe^2\,O^3$.

Nous voulons bien qu'il en soit ainsi, seulement nous n'en sommes pas convaincu ; les propriétés chimiques de l'hydrate de fer diffèrent trop peu de celles du peroxyde pour que nous puissions y voir autre chose qu'une simple dissolution d'eau, dont la proportion n'est constante que parce qu'il y a toujours saturation.

Quelle que soit sa composition, le fer oxydé hydraté se rencontre presque partout, seulement il est rarement pur mécaniquement. Les variétés exploitées sont :

L'*hématite brune*, qui se rencontre dans les *Basses-Pyrénées*, dans l'*Ariége*, à *Framont* (Vosges), dans la *Moselle* et dans plusieurs autres localités de la *France*, de l'*Allemagne*, de l'*Angleterre*, etc. ;

L'*hydroxyde compacte*, qui se rencontre dans la *Marne*, la *Moselle*, les *Vosges*, les *Ardennes*, les *Basses-Pyrénées*, l'*Hérault*, et dans un grand nombre d'autres localités ;

L'*hydroxyde granulaire, oolithique* ou *terreux*, qui se rencontre dans les *Ardennes*, la *Franche-Comté*, la *Marne*, le *Berry*, le *Doubs*, le *Jura*, la *Haute-Saône*, le *Pas-de-Calais*, etc. ;

Le *fer hydraté limoneux*, qui se rencontre en *Suède*, en *Sibérie*, dans la *Courlande*, etc.

Digitized by Google

§ 5. Des fers carbonatés.

Le carbonate de fer ayant pour formule : $Fe\ O\ C\ O^2$, et pour composition :

| | | | |
|---|---|---|---|
| $Fe$ | | 350 | 48.25 |
| $3\ O$ | $\times\ 100 =$ | 300 | 41.25 |
| $C$ | | 75 | 10.50 |
| | | 725 | 100.00 |

Sa teneur maxima en métal est 48.25 pour 0/0. Ce ne peut donc jamais être un minerai riche; mais, comme il est très-facile à réduire et ne contient, en fait de gangue, que des oxydes terreux et du manganèse, il est très-recherché, et donne généralement de bons fers pour la fabrication de l'acier.

On divise les fers carbonatés en *fers spathiques* blancs, qui se rencontrent dans les *Pyrénées-Orientales*, dans l'*Isère*, à Autun (*Saône-et-Loire*), dans le *Puy-de-Dôme* et dans une foule de localités étrangères.

*Mine douce*, qui se rencontre dans les *Pyrénées*, l'*Ariége*, l'*Isère*, l'*Aude*, et dans plusieurs autres localités.

*Fer carbonaté lithoïde*, qui se rencontre dans les *terrains houillers*, et porte, à cause de cela, le nom de *minerai des houillères*. On le distingue en *quartzeux*, *compacte* et *schisteux*.

§ 6. Fers siliceux.

Il faut comprendre, sous cette dénomination, non-seulement les silicates de fer répandus dans la nature, mais encore les laitiers de forges que, dans certaines localités, on ajoute à d'autres minerais, dans les hauts fourneaux, pour la fabrication de la fonte.

En général, les silicates de fer ne sont pas des minerais à traiter seuls, parce qu'ils exigent une trop forte proportion de bases terreuses pour saturer la silice et séparer ainsi le silicium du métal; mais ils conviennent très-bien en mélange avec les minerais terreux, parce qu'ils évitent l'addition de silice que ces derniers pourraient nécessiter. Nous ne parlerons pas ici de leur composition, attendu qu'ils fonctionnent autant comme *fondants* que comme matière première et allons y revenir dans le chapitre suivant.

---

## CHAPITRE II.

### DES FONDANTS.

Quand les minerais contiennent des matières volatiles, telles que l'*eau*, l'*acide carbonique* et le *zinc*, il n'est pas nécessaire de se préoccuper de ces dernières, parce que, sous l'influence de la température à laquelle a lieu la réaction, toutes ces substances s'évaporent. Les seules matières étrangères dont il y ait à s'occuper sont les corps simples ou composés, mais fixes, qui, n'étant ni carbone ni oxyde de fer, sont inutiles à la réaction et doivent être éliminés.

A quel état les éliminera-t-on? Existe-t-il des substances, peu dispendieuses à fabriquer, qui

Digitized by Google

jouissent de la faculté de se combiner avec ces corps étrangers et les convertir en matières volatiles, sans attaquer les agents principaux de la réaction? S'il en existe, il est également inutile de se préoccuper de matières étrangères, et tous les hauts fourneaux, à quelque combustible qu'ils marchent, donneront de la fonte première qualité. On a proposé le chlore pour enlever le soufre; mais on n'a rien proposé pour volatiliser la silice et les acides métalliques terreux dont sont imprégnés les minerais.

Puisqu'on ne peut faire partir toutes les matières étrangères par en haut au moyen de la volatilisation, il faut bien se décider à les voir arriver en bas avec la fonte; seulement on peut exiger d'elles qu'elles se présentent convenablement, et on n'a rien trouvé de mieux, jusqu'à ce jour, que de les convertir en silicates fusibles, c'est-à-dire en verre.

Quelles sont les proportions des éléments constitutifs d'un verre?

Si nous appelons *silicate neutre* tout composé à base métallique contenant un atome de *silice* et un atome d'*oxyde*, nous formons le tableau suivant, déjà donné (page 13), savoir :

*Tableau des proportions de silice contenues dans 100 parties de silicate neutre pour diverses bases.*

| ÉLÉMENTS BINAIRES. | FORMULES. | PROPORTIONS ATOMIQUES. | | PROPORTIONS des composants pour 100 de silicate neutre. | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Métal. | Oxygène. | Acide. | Base. |
| Silice..... | $SiO^3$ | 277.778 | 300 | » | » |
| Chaux..... | CaO | 251.651 | 100 | 62.0 | 38.0 |
| Potasse..... | KaO | 488.856 | 100 | 49.8 | 50.2 |
| Soude..... | NaO | 289.729 | 100 | 59.8 | 40.2 |
| Magnésie..... | MgO | 158.140 | 100 | 69.0 | 31.0 |
| Alumine..... | $Al^2O^3$ | 341.800 | 300 | 47.0 | 53.0 |
| Protoxyde de fer..... | FeO | 350.527 | 100 | 56.0 | 44.0 |
| — de manganèse..... | MnO | 244.681 | 100 | 56.5 | 43.5 |
| — de plomb..... | PbO | 1294.645 | 100 | 29.2 | 70.8 |

Ce tableau est à peu près vrai pour tous les métaux, sauf pour l'aluminium, dont l'oxyde exige, croit-on, trois atomes de silice pour un des siens. Si nous en retranchons l'alumine, l'oxyde de plomb et la magnésie, nous voyons que la proportion de silice contenue dans un silicate neutre des autres métaux varie entre 50 et 62 p. 0/0. On peut donc dire, en général, que

Tout verre à base principale de chaux, qui contient 60 p. 0/0 de silice, est un silicate neutre; s'il en contient plus ou moins, c'est un verre, c'est-à-dire une dissolution, dans le silicate neutre, d'un excès d'acide ou de base, dont la fusibilité est d'autant moindre que sa composition est plus éloignée de celle du silicate neutre.

Tout l'art de composer les fondants consiste à établir entre leurs composants et les matières étrangères que contient le minerai un rapport tel que le verre qui en résulte fonde à une température déterminée. Nous disons à une température déterminée, parce que cette température joue un rôle très-important dans le travail du haut fourneau. En effet, nous venons de supposer

Digitized by Google

que le verre qui se forme dans l'appareil est exclusivement composé de matières étangères aux réactifs destinés à la fabrication de la fonte. Mais l'oxyde de fer est une base; de plus, cette base est très-susceptible de former des silicates avec la silice; enfin la silice (page 49) est décomposable, à haute température, quand elle est en contact avec le carbone et le fer.

Il faut empêcher, autant que possible, que ces deux réactions aient lieu, parce que la première, en convertissant une partie de l'oxyde en silicate, occasionne du déchet, et la seconde, en introduisant du silicium dans la fonte, augmente bien son poids, mais diminue sa ténacité et lui ôte de sa valeur pour l'affinage, à cause du déchet qu'elle occasionne à cette opération.

On fait disparaître ces inconvénients au moyen de la composition des fondants, en observant que

1° C'est au *rouge-cerise* que commence la réaction du carbone et de l'oxyde de carbone sur le minerai. Si la température de fusion des laitiers est supérieure à toutes celles pendant lesquelles cette réaction a lieu, on peut être certain que, quand la fusion des laitiers commencera, l'oxyde de fer, étant déjà réduit à l'état métallique, sera incapable de former un silicate et que les laitiers seront exclusivement composés de matières étrangères.

2° C'est au *blanc soudant* que la silice, en contact avec le carbone et le fer, se décompose en oxygène et silicium qui se dissout dans le fer. Si la température de fusion des laitiers est de beaucoup inférieure au blanc soudant, on peut être certain que, quand le métal atteindra cette température, c'est-à-dire entrera en fusion, il ne dissoudra pas de silicium, toute la silice étant à l'état de silicate dans le laitier.

Bien plus, le soufre et le phosphore, qui ne demandent qu'à se dissoudre, passeront d'autant plus intégralement dans les laitiers que ces derniers auront séjourné plus longtemps liquides à côté de l'acier solide. Il serait téméraire de dire que, par le fait seul qu'il est solide, l'acier spongieux ne peut dissoudre le soufre et le phosphore; sa faculté dissolvante pour le carbone, dans ce cas, prouve le contraire. Mais on peut dire que la faculté dissolvante du fer liquide est plus grande que celle du fer solide. C'est pourquoi, nous le répétons, si les laitiers se liquéfient longtemps avant l'acier, ils emporteront avec eux infiniment plus de soufre et de phosphore que s'ils fondaient en même temps que lui.

Ainsi le degré de fusibilité des laitiers est le point le plus important de la fabrication de la fonte, eu égard au rendement et à la qualité du produit.

Étant donné un minerai, comment déterminera-t-on la composition des fondants pour donner aux laitiers la fusibilité correspondant au maximum de rendement et à la meilleure qualité possible du produit?

Si le verre du laitier doit être moins fusible que le silicate neutre et, par conséquent, contenir un excès de l'un des composants en dissolution, nous répondons tout d'abord : En aucun cas, le composant en excès ne doit être la silice. Car, si on choisissait la silice, on éviterait bien la formation de silicate de fer, mais on n'éviterait pas la formation du silicium, parce qu'un corps en dissolution est au moins aussi facilement attaquable que quand il est pur.

Le *laitier* doit donc être essentiellement *basique*.

Maintenant vous ignorez quelle doit être la dose de base en excès. Commencez par la composition correspondant au silicate neutre. Analysez ensuite les laitiers au sortir du haut fourneau; si vous y trouvez du fer, forcez insensiblement la dose en *castine* (c'est le nom qu'on donne à l'oxyde métallique étranger que l'on introduit dans les fondants), jusqu'à ce qu'enfin vous n'en trouviez plus.

Analysez ensuite la fonte produite; si vous trouvez qu'elle contient des proportions notables de silicium, concluez-en que votre laitier est trop réfractaire et ne fond pas assez tôt.

Digitized by Google

Vous vous trouvez alors dans la nécessité d'adopter une moyenne; car, d'une part, la composition que vous avez donnée à votre laitier correspond au maximum de rendement; d'autre part, cette composition favorise la dissolution du silicium dans le métal. Cette moyenne dépend nécessairement de l'usage auquel est destinée la fonte. Si elle est destinée au moulage pour pièces mécaniques, vous devez accepter le déchet en métal et diminuer le dosage en castine; si elle est, au contraire, destinée à l'affinage, vous devez vous éloigner le moins possible du dosage que vous avez trouvé être le plus favorable au rendement.

Le prix de vente est, du reste, la meilleure pierre de touche dans les deux cas.

La chaux (sous forme de carbonate, c'est-à-dire contenant 56 oxyde et 44 acide) est la base que l'on emploie le plus généralement comme castine, tant à cause de la facilité avec laquelle elle entre en combinaison avec la silice qu'à cause de son bas prix et de l'innocuité des matières étrangères dont elle est accompagnée.

Quand, par suite de l'abondance des matières étrangères basiques que contient le minerai, le fondant doit être siliceux, on emploie, de préférence à la silice pure qui est très-réfractaire, des argiles très-sablonneuses, comme il en existe dans beaucoup d'endroits, ou, mieux, des minerais siliceux ou du laitier de forges.

En général, on doit composer les *charges* en minerais de diverses natures et composition, de manière à ce que leurs *gangues* réunies représentent, le plus possible, la composition du laitier qui est nécessaire à leur fusion. De cette façon, on économise non-seulement une partie des frais qu'occasionne l'addition des fondants, mais encore on économise le combustible, puisque la quantité de matières improductives à fondre a diminué.

---

## CHAPITRE III.

### DU COMBUSTIBLE.

Le combustible des hauts fourneaux est (page 65) le carbone, plus ou moins souillé de matières étrangères fixes et, autant que possible, débarrassé, par la calcination, des matières volatiles qu'il peut contenir. Il s'extrait, tantôt du règne *végétal* et porte le nom de *charbon de bois*, tantôt il s'extrait du règne minéral, soit à l'état de *houille* et porte le nom de *coke*, soit à l'état d'*anthracite* et s'emploie tel quel.

Bien que le bois et les houilles contiennent des matières volatiles combustibles et même susceptibles de réagir, comme l'oxyde de carbone, sur le minerai pour le décomposer, on ne les emploie pas avantageusement, parce que

1° Ces combustibles contiennent aussi de l'eau, dont l'évaporation emporte avec elle une bonne partie du calorique engendré par la combustion des matières volatiles;

2° La combustion ayant lieu de bas en haut et l'alimentation en combustible s'effectuant de haut en bas, l'excédant de calorique développé par la combustion des matières volatiles ne pourrait être utilisé que hors de l'appareil, le premier effet de la température étant d'évaporer ces matières volatiles.

Lors donc qu'on veut tirer parti de ces matières, il convient de distiller les combustibles *crus* avant de les introduire dans le haut fourneau; on obtient ainsi, d'une part, du gaz d'éclairage et des goudrons riches; d'autre part, du carbone, plus ou moins pur, à l'état spongieux. Mais

Digitized by Google

pour cela il ne faut pas opérer la distillation dans des appareils métalliques; la température que ces appareils comportent n'est pas assez élevée et alors le carbone spongieux qu'on en retire est mou et friable; il en résulte que, quand ce carbone a atteint une certaine profondeur dans la cuve du haut fourneau, il est incapable de résister à la charge qu'il supporte; il s'écrase, se resserre, s'éteint intérieurement et se dissout en partie dans les laitiers.

Il faut, pour cette opération, des appareils en terre réfractaire. Depuis quelques années on est parvenu à remplacer avec succès les cornues à gaz en fonte par des cornues en terre cuite; ces dernières, primitivement si fragiles, ne le sont plus, grâce à la forte proportion de ciment, en poudre et en grain, qu'elles renferment, lequel empêche la cristallisation du silicate d'alumine pendant le refroidissement.

Mais les cornues donnent le coke en trop petits morceaux. Un ingénieur distingué, M. *Knab*, a imaginé un moyen d'opérer la distillation des combustibles crus dans les fours clos en briques de grande dimension, qui paraît appelé à un grand avenir. Ce moyen consiste à aspirer les gaz des fours clos, au fur et à mesure qu'ils se produisent, en ayant soin que les pressions intérieure et extérieure soient constamment les mêmes. Par cette disposition, les joints des briques cessent d'être un obstacle à la distillation; ni les gaz ne tendent à s'échapper, ni l'air ne tend à entrer. Ce procédé est certainement dispendieux, puisqu'il nécessite une machine à vapeur pour l'aspiration des gaz et du combustible pour le chauffage des fours; mais il permet de recueillir des produits d'une grande valeur et de retirer du combustible cru tout le carbone qu'il renferme.

Ce procédé est trop nouveau pour qu'on puisse encore se prononcer d'une manière positive en sa faveur; il fonctionne sur une grande échelle, à Saint-Étienne, pour la fabrication du coke métallurgique et des chemins de fer. S'il donne des résultats satisfaisants, on ne peut nier que les industries qui consomment des combustibles crus subiront de grandes modifications; nous y reviendrons plus loin.

Quant à présent, les charbons de *bois* et de *houille*, que l'on emploie dans les hauts fourneaux, proviennent tous de la carbonisation *self acting*, c'est-à-dire dans laquelle le bois et la houille sont à la fois combustible et matière à distiller. Cette carbonisation, qui s'effectue tantôt dans des *fours ouverts*, tantôt en *tas*, est toujours accompagnée d'une haute température, ce qui est nécessaire pour que l'intégralité des matières volatiles que renferme le combustible cru soit complétement expulsée. Son rendement est nécessairement moindre que quand on distille en vase clos, puisqu'une partie du carbone est employée à engendrer le calorique nécessaire à la production de la température voulue.

Ainsi, tandis que la carbonisation en vase clos rend de 25 à 30 de charbon de bois pour 100 kilogrammes de bois brut, la carbonisation en meules rend de 17 à 19 pour 100 seulement. De même, tandis que la carbonisation en vase clos rend 70 à 75 coke pour 100 houille, la carbonisation en fours ouverts rend de 50 à 60 pour 100 seulement.

Le *charbon de bois* et le *coke*, ainsi préparés, diffèrent l'un de l'autre en ce que

1° Le charbon de bois est toujours plus tendre que le coke et ne comporte pas, par conséquent, d'aussi fortes charges; partant, il nécessite des cuves moins élevées et produit moins, par vingt-quatre heures, la *descente* des matières étant plus lente.

2° Le charbon de bois ne contient, en fait de corps étrangers, qu'une petite proportion de carbonate de potasse et de soude qui se dissout dans le laitier et n'altère en rien la qualité du métal. Le coke, au contraire, contient toujours, outre des carbonates et des silicates, des proportions variables de sulfure de fer, provenant de pyrites décomposées pendant la carbonisation, dont l'effet est de dissoudre des quantités plus ou moins notables de soufre dans le métal.

Digitized by Google

Pour ces deux motifs, on divise les hauts fourneaux en

Hauts fourneaux au charbon de bois,
Hauts fourneaux au coke.

---

## CHAPITRE IV.

### DU VENT FORCÉ.

Bien que le vent forcé ait pour effet de convertir la majeure partie du carbone introduit dans le haut fourneau en gaz réducteur du minerai et d'accélérer la réaction, son but unique est de produire la température nécessaire non-seulement à la fusion de l'acier, mais encore à la génération de sa fonte par saturation du métal liquide en *carbone*. Il en résulte que plus la fonte doit contenir de carbone, plus la température de l'ouvrage doit être élevée, plus, par conséquent, les proportions de carbone brûlé et de vent injecté doivent être grandes.

Il y a trois choses à déterminer dans l'application du vent forcé au haut fourneau, savoir :

1° La quantité de vent à injecter par 100 kilog. de fonte produite,

2° La pression à laquelle il convient de l'injecter,

3° La température qu'il doit affecter.

§ 1er. De la quantité du vent.

La *quantité* de vent à injecter dans un haut fourneau dépend de la *nature* et de la *quantité* du combustible employé.

Le combustible peut être soit du *carbone* chimiquement, mais non mécaniquement, pur, soit, comme on l'a essayé fréquemment, un mélange de carbone et de gaz combustibles, soit enfin des gaz combustibles seulement. Jusqu'ici on n'a employé avec succès que le carbone pur, soit cru, à l'état d'*anthracite*, soit carbonisé, à l'état de *charbon de bois* ou de *coke*. Nous envisagerons néanmoins les deux cas et supposerons le carbone dégagé de toutes les matières étrangères dont il est généralement souillé, sauf à tenir compte du poids de ces matières dans l'application.

1° *De la quantité de vent nécessaire quand le combustible est le carbone en nature.*

Nous avons dit (page 36) que les quantités d'*air* nécessaires à la combustion de 1 kilog. de carbone sont :

Pour oxyde de carbone. . . . . $4^{m.c.},412$
Pour acide carbonique. . . . . $8^{m.c.},824$

et que les quantités d'oxygène renfermées dans ces quantités d'air sont :

Pour oxyde de carbone, en volume. . . . . $0^{m.c.},9266$
— en poids. . . . . $1^{k},33$
Pour acide carbonique, en volume. . . . . $1^{m.c.},8532$
— en poids. . . . . $2^{k},66$

Nous avons dit aussi (page 34) que les quantités de calorique engendrées dans les deux cas, par 1 kilog. de carbone, sont :

Pour oxyde de carbone. . . . . 1386 calories,
Pour acide carbonique. . . . . 7170 *idem*.

Digitized by Google

Enfin nous savons que la quantité d'oxyde de carbone contenant 1 kil. de carbone produit, en brûlant, 5784 calories, soit exactement la différence qui existe entre 7170 et 1386.

Si nous représentons par A la quantité totale de *carbone* consommée par 100 kilog. de fonte produite, cette quantité se décompose en trois autres, savoir :

B, qui se dissout dans le métal et le constitue à l'état de *fonte*,

C, qui sert à la décomposition du minerai,

D, qui est, exclusivement, employée au chauffage ;

on a donc : $A = B + C + D$.

La quantité B varie entre 3 et 5 kil.

Les quantités C et D, tantôt à l'état d'acide carbonique, tantôt à l'état d'oxyde de carbone, à l'intérieur de l'appareil, sortent du gueulard à l'état de mélange de ces deux gaz, dans des proportions qui varient suivant l'abondance du vent apporté par les tuyères.

D'après M. *Ebelmen*, qui a fait de nombreuses expériences pour déterminer les compositions des gaz dans les hauts fourneaux, les proportions d'acide carbonique et d'oxyde de carbone, sortant au gueulard, seraient entre elles comme :

| | |
|---|---|
| Acide carbonique. . . . . | 1. |
| Oxyde de carbone. . . . . | 1.84, 2.00, 3.96. |

Or, comme, de deux hauts fourneaux, celui-là est dans les conditions les plus rationnelles, qui dégage le moins d'oxyde de carbone au gueulard, puisqu'il tire du carbone le plus d'effet utile, on peut admettre que, dans un haut fourneau marchant bien, les proportions de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone, au gueulard, sont dans le rapport de 1 : 2.

Supposons alors que

1° B est égal à 5 kilog. ;

2° L'oxyde du minerai est sesqui-oxyde contenant (page 57), sur 143 parties :

100 parties métal,
43 *id.* oxygène.

Nous en concluons que 100 kilog. fonte représentent :

95 kilog. fer,
5 kilog. carbone ;

Donc, $\frac{143 \times 95}{100} = 136$ kilog. de sesqui-oxyde, et $136 - 95 = 41$ kilog. oxygène.

Ces 41 kilog. d'oxygène saturant la quantité C de carbone et la convertissant en 1 acide carbonique et 2 oxyde de carbone, on obtient cette dernière en posant :

| | carbone. | oxygène. |
|---|---|---|
| 1 acide carbonique = | 0.273 | + 0.727 |
| 2 oxyde de carbone = | 0.858 | + 1.142 |
| Totaux. . . . | 1,131 | + 1.869 |
| | 3 | |

et la proportion :

$$1.869 : 1.131 :: 41 : x$$



Digitized by Google

d'où $$x = \frac{1.131 \times 41}{1.869} = 24^{k}.80$$

net 25 kilog.

et $$A = 5^{k} + 25^{k} + D$$

d'où $$D = A - 30^{k}.00$$

Connaissant A, on obtient D immédiatement par cette équation; or A est variable, précisément parce que D l'est lui-même, suivant l'épaisseur des parois du haut fourneau, le plus ou moins de fusibilité des minerais, leur grosseur, les proportions de la gangue et des fondants qu'il faut ajouter, la nature du combustible, etc.

D'après MM. *Flachat*, *Barrault* et *Petiet* (tome 1er, art. 361 et 486), quand les fourneaux sont au charbon de bois, A varie entre 90 et 300 kilog.; quand ils sont au coke, A varie entre 140 et 500 kilog., compris les cendres.

Prenons les chiffres extrêmes 90 et 300, sans tenir compte des cendres, nous obtenons pour valeur de D :

1° $90 - 30 = 60$ kil.
2° $300 - 30 = 270$ kil.

La valeur de D, c'est-à-dire du carbone brûlé par le vent des tuyères, varie donc entre 60 et 270 kilog.

Ces chiffres connus, nous allons déterminer, ainsi qu'il suit, les quantités d'air qu'il faut dépenser, dans les deux cas, par 100 kilog. de fonte produite.

1° D = 60 kilog. carbone brûlé par 100 kilog. de fonte produite, pour 1 acide carbonique et 2 oxyde de carbone :
nous avons la proportion (page 89) :

$$1.131 : 1.869 :: 60 : x = 100^{k} \text{ d'oxygène}$$

et (page 36) :

$1^{k}.33 : 1^{mc},412 :: 100^{k} : x = 332$ mètres cubes d'air, soit $\frac{332}{60} = 5^{mc},53$ d'air par kilog. de carbone brûlé. La consommation totale en carbone A étant 90 kilog. et la consommation en air étant 332 mètres cubes, la consommation d'air par kilog. de carbone total consommé est :

$$\frac{332}{90} = 3^{mc},700$$

2° D = 270 kilog. carbone brûlé par 100 kilog. de fonte produite :
Pour 1 acide carbonique et 2 oxyde de carbone, nous avons, comme ci-dessus, la proportion :

$$1.131 : 1.869 :: 270 : x = 445 \text{ kilog. d'oxygène}$$

et (page 36) :

$$1^{k}.33 : 1^{mc},412 :: 445 : x = 1476 \text{ mètres cubes d'air.}$$

La consommation totale en carbone A étant 300 kilog. et la consommation en air étant 1476 mètres cubes, la consommation d'air par kilog. de carbone total consommé est :

$$\frac{1476}{300} = 4^{mc},92.$$

Digitized by Google

Il résulte de ces calculs que, quand les gaz sortent du gueulard dans les proportions de

1 acide carbonique,
2 oxyde de carbone,

la quantité d'air nécessaire au chauffage varie entre 3.70 et 4.92 mètres cubes par kilog. de carbone total consommé.

La question qui se pose naturellement, après ce résultat, est la suivante, savoir : si on augmente ou diminue le volume d'air rigoureusement nécessaire pour produire au gueulard 1/3 acide carbonique et 2/3 oxyde de carbone en poids, qu'arrivera-t-il?

La formation d'oxyde de carbone étant, sinon une perte absolue, puisqu'on l'applique au chauffage d'autres appareils, du moins une perte relative, le but apparent de la manœuvre dans les hauts fourneaux doit être de faire le plus d'acide carbonique possible; il convient donc, pour cela, de verser les charges dans l'ordre suivant, savoir :

1° Charbon,
2° Minerai,
3° Fondants.

De cette façon, quand le charbon commence à brûler, s'il donne de l'oxyde de carbone, il y a toutes chances pour que ce dernier rencontre du minerai et se convertisse en acide carbonique, si la température est suffisante; de même, si le carbonate de la castine est décomposé, son acide carbonique se dégage tel quel du haut fourneau. Nous supposons donc que, quand les gaz sortant de l'appareil contiennent 1 d'acide carbonique et 2 d'oxyde de carbone, toutes les mesures ont été prises pour que le chargement soit bien fait.

Dans ces conditions, il nous paraît impossible que, quelle que soit la quantité de vent introduite dans le haut fourneau, la composition des gaz sortants et, conséquemment, la consommation d'air par kilog. de carbone *brûlé* puisse varier. La quantité de carbone consommée dans un temps donné, et le travail produit par le haut fourneau, varieront, mais la quantité de vent consommée par kilog. de carbone *brûlé* sera constante.

Le seul effet que puisse produire, au point de vue de l'économie, l'accélération de la combustion, c'est de diminuer la perte relative de calorique occasionnée par le refroidissement des parois et, par conséquent, de diminuer la consommation relative du carbone, sans modifier en rien la perte, également relative, que subissent les 100 kilog. de fonte fabriquée, par le dégagement de l'oxyde de carbone au gueulard.

Les charbons de bois contenant en moyenne 5 pour 100 et les cokes de 10 à 15 pour 100 de cendres; si A représente la quantité totale de charbon consommée dans un haut fourneau par 100 kilog. de fonte produite, la quantité de carbone *brûlée* est, à très-peu près, la suivante :

1° Au charbon de bois :

A moins { 5 pour 100 de cendres,
5 kilog. pour saturer le métal,
25 kilog. pour réduire le minerai ;

2° Au coke :

A moins { 15 pour 100 de cendres,
5 kilog. pour saturer le métal,
25 kilog. pour réduire le minerai.

Cette quantité, une fois déterminée, si on la multiplie (page 90) par $5^{m.c.},53$, on obtiendra exactement la consommation d'air par 100 kilog. de fonte produite.

Digitized by Google

Cette conclusion, que nous venons de déduire de considérations théoriques ayant pour base les expériences de M. *Ebelmen*, est en rapport avec les faits observés. Ainsi, d'après M. *Walter de Saint-Ange*, qui a recueilli les expériences faites avec soin, soit par lui, soit par d'autres observateurs, sur soixante-quinze hauts fourneaux, au bois de diverses contrées (*Métallurgie pratique du fer*, page 58 et suivantes) :

« 1° Dans un même haut fourneau, si on augmente la quantité d'air lancée, la production augmente. » Il y a une limite, il est vrai, parce que l'air contenant 79 pour 100 d'azote emporte avec lui une partie du calorique engendré par son oxygène ; ensuite parce que la section de l'appareil joue un rôle dans la production, attendu que la durée de la transformation du minerai en fonte n'est pas instantanée et comporte quatre opérations qui exigent chacune un certain temps, savoir :

1° La décomposition du minerai,
2° La cémentation du fer solide,
3° La fusion de l'acier,
4° La cémentation de l'acier liquide.

Cela est si vrai, que plus bas l'auteur dit : « A hauteurs égales et consommations d'air proportionnelles aux sections, les qualités de produit sont à peu près proportionnelles aux sections. »

Et : « A hauteurs égales et sections différentes, les produits relatifs sont à peu près entre eux comme les quantités relatives d'air, toujours jusqu'à la limite *maxima*, etc. »

Nous verrons plus tard, en parlant du haut fourneau proprement dit, quelle doit être la section, eu égard au volume d'air lancé par minute.

Mais, si nous sommes d'accord, avec M. *Walter de Saint-Ange*, relativement à la manière dont s'effectue la combustion, eu égard à son influence sur sa production, nous cessons de l'être quand il s'agit de déterminer la quantité d'air lancée par kil. de charbon employé. M. *Walter* évalue cette quantité à $7^{m.c.},695$ en moyenne, tandis que nous avons trouvé :

| | m.c. |
|---|---|
| Minimum. . . . . | 3.700 |
| Maximum. . . . . | 4.920 |

D'après MM. *Flachat*, *Barrault* et *Petiet* (t. I^er^, § 60), cette consommation varierait entre 6 et 7 mètres cubes. Or, comme il ne se dégage pas d'oxygène au gueulard et comme la proportion d'oxyde de carbone, qui s'y dégage, est, au moins, le double de celle de l'acide carbonique, nous ne pouvons faire autrement que de considérer ces chiffres comme des hypothèses résultant de la dimension des machines soufflantes, mais nullement comme réels, et nous persistons à penser que les proportions de gaz sortant du gueulard étant connues, on peut déterminer presque exactement la consommation en air par kil. de combustible consommé.

Ne pouvant empêcher le dégagement de l'oxyde de carbone au gueulard, on a essayé de l'utiliser.

De toutes les applications qui ont été faites dans ce sens, celle de MM. *Thomas* et *Laurens*, au chauffage des chaudières à vapeur, a eu le plus de succès et est, aujourd'hui presque universellement employée ; nous en parlerons plus loin.

Nous parlerons aussi, plus loin, d'une application des gaz, sortant du gueulard, au grillage des minerais faite par M. *Houldsworth* (voir le n° 24 du génie industriel, par MM. Armengauld frères).

Remarque. *De la substitution de la chaux vive au carbonate de chaux comme castine.* — Nous avons dit (page 85) que, de tous les fondants employés, dans le haut fourneau, pour favo-

Digitized by Google

riser la fusion des gangues, le carbonate de chaux est celui dont on fait le plus usage. Or le carbonate de chaux, $Ca\,O, CO^2$, est un composé, sur cent parties, de :

56 Chaux vive,
44 Acide carbonique.
100

Il en résulte que, sur 100 kil. de carbonate de chaux pur injecté dans le haut fourneau, il y a 44 kil. d'acide carbonique qui, en contact avec le carbone incandescent, se convertissent en oxyde de carbone et, bien que contribuant à la réduction du minerai, tendent à augmenter la proportion d'oxyde de carbone sortant du gueulard, puisque, comme nous venons de le voir, l'acide carbonique qui se forme dans l'appareil est encore à moitié décomposé, au moins, à son arrivée au gueulard.

Il est donc fort intéressant d'étudier l'économie de combustible, qui est réalisée quand on substitue la chaux vive au carbonate de chaux.

D'après un mémoire inséré dans la *Revue universelle de M. Ch. de Cuyper* (t. III, page 333), il paraît que des essais, dans ce sens, ont été faits, à diverses reprises, d'abord en *Silésie*, où ils n'ont pas réussi, ensuite à *Ougrée*, où ils ont donné d'excellents résultats, enfin aux fourneaux de *Kœnigshütte*, en *Silésie*, où ils ont aussi donné des résultats satisfaisants.

A *Ougrée*, où on met 40 de castine pour 100 de minerai, la substitution de 26 chaux vive a donné, en moyenne, pour 6 mois :

Économie de coke. . . . . 9.6 pour 100.
Augmentation dans la production, en fonte. . . . 23.0 —

A *Kœnigshütte*, où on met 30 de castine pour 100 minerai, la substitution de 20 chaux vive a donné, en moyenne, sur deux fourneaux, pendant dix semaines :

Économie de coke. . . . . 3.1 pour 100.
Augmentation dans la production, en fonte. . . . 2.85 —

Ces différences proviennent uniquement de ce que l'économie est proportionnelle au dosage en fondants, lequel dépend lui-même du degré de pureté des minerais; elles prouvent donc, tout d'abord, que la substitution de la chaux vive à la castine est d'autant plus importante que les minerais sont plus pauvres et exigent une plus grande quantité de fondants, comme dans le nord de la *France*, où les minerais d'*Avesnes* exigent jusqu'à 55 pour 100 de castine.

En second lieu, il y aurait exagération à attribuer toute l'économie réalisée à l'absence de l'acide carbonique dans la castine, attendu que la calcination du carbonate de chaux ne peut se faire sans dépense de combustible, et que, si cette dépense n'a pas lieu dans le haut fourneau, elle a lieu nécessairement ailleurs.

Quoi qu'il en soit, nous pensons que la substitution de la chaux vive au carbonate de chaux doit avoir pour effet de réaliser une grande économie dans la dépense du combustible et vient à l'appui des calculs qui précèdent pour démontrer combien il importe de veiller à ce que la quantité d'oxyde de carbone sortant du gueulard soit un minimum.

### 2° *De la quantité de vent nécessaire, quand le combustible est tout autre que le carbone en nature.*

Nous avons dit (page 47) que, les carbures de fer étant de simples dissolutions du carbone dans

Digitized by Google

le métal, les *combinaisons* du carbone sont indécomposables par le *fer* pur, en tant qu'il s'agit de leur enlever le carbone. La carburation du métal, dans le haut fourneau, ne peut donc s'effectuer que par le carbone en nature ou à l'état de dissolution *solide*, *liquide* ou *gazeuse*.

La substitution, au carbone en nature, de gaz combinés ne doit donc avoir pour but que de réagir sur le minerai, pour le réduire à l'état métallique, et de produire de la température. Si, parmi les gaz dits combinés, il en est qui carburent le métal, c'est que ces gaz sont, ou décomposables par la température, ou de simples dissolutions aussi.

Pour bien nous rendre compte de l'emploi des gaz, rappelons que la conversion du minerai de fer en fonte comporte trois réactions chimiques, savoir :

1° Conversion de l'oxyde de fer en métal;

2° Conversion du métal en acier;

3° Conversion de l'acier en fonte, et divisons le haut fourneau en trois zones, savoir :

Première zone. — Fabrication du fer spongieux.

Deuxième zone. — Fabrication de l'acier fondu.

Troisième zone. — Fabrication de la fonte liquide.

La première zone est ce qu'on nomme la *cuve;* la deuxième est ce qu'on nomme les *étalages;* la troisième est ce qu'on nomme l'*ouvrage*.

La première zone a besoin, comme réactif, d'oxyde de carbone et, comme température, une croissance du *rouge-cerise* au *rouge clair*.

La deuxième zone a besoin, comme réactif, de carbone en nature ou dissous, et, comme température, une croissance du *rouge clair* au *blanc soudant*.

La troisième zone a besoin, comme réactif, de carbone en nature ou dissous, et, comme température, du *blanc soudant* partout.

Ainsi, d'une part, les réactifs sont, dans la première zone, l'*oxyde de carbone;* dans les deux autres, le *carbone*.

D'autre part, les températures sont croissantes, depuis le sommet de la cuve jusqu'à la base de l'ouvrage. C'est donc à ce point que doit s'effectuer la combustion.

Si les produits de la combustion des combustibles employés sont inattaquables par le carbone, l'introduction des réactifs, oxyde de carbone et carbone, doit s'effectuer entre la première zone et la seconde, soit au ventre.

L'un d'eux, l'oxyde de carbone, s'élève dans la cuve; l'autre, le carbone, descend dans les étalages.

Les proportions de chacun d'eux s'obtiennent en remarquant que (page 36) :

1k.33 d'oxygène et 1 kil. de carbone donnant 2k.33 d'oxyde de carbone, il faut autant de fois 2.33 d'oxyde de carbone pour produire 95 de métal, soit 100 de fonte, que 41 kil., oxygène contenu dans l'oxyde, contient de fois 1.33 d'oxygène nécessaire à la conversion de 2.33, oxyde de carbone, en acide carbonique, donc :

Oxyde de carbone $\frac{41}{1.33} \times 2.33 = 71^{k}.82$ par 100 kilogr. de fonte;

Carbone. . . . . $5^{k}.00$.

L'alimentation, en réactif, par le ventre du fourneau, consisterait en :

$71^{k}.82$ oxyde de carbone,
$5^{k}.00$ carbone,

par 100 kilogr. de fonte à produire.

Digitized by Google

Mais nous ne connaissons pas de combustible gazeux formant, avec l'oxygène, un composé inattaquable par le carbone. Il en résulte que le carbone destiné à carburer le métal sera nécessairement attaqué et converti en oxyde de carbone. Acceptons ce rôle du carbone et, au lieu d'alimenter en carbone et oxyde de carbone, alimentons en carbone pur. Sa proportion sera alors :

Pour réagir dans la première zone à l'état d'oxyde de carbone, $\frac{71}{2.33} = 31$ kilog.;

Pour réagir dans la deuxième et la troisième. . . . . 5

Total. 36 kilog.

Mais sommes-nous certains que la quantité de gaz qu'il faudra brûler, pour produire les températures voulues, ne sera pas supérieure à ce qu'il en faut pour, après combustion, attaquer 31 kilogr. de carbone par 100 kilogr. de fonte produite.

Dans l'état actuel des choses, il faut, avons-nous dit, un total de 90 à 300 kilogr. de charbon. En supposant 200 kilogr. de coke, seulement, il faut que les gaz produisent la même quantité de calorique que donnent 156ᵏ.80 de carbone pur à 1/3 acide carbonique et 2/3 oxyde de carbone, c'est-à-dire $156^{k}.80 \times 3314 = 520{,}000$ calories.

1 kilogr. d'hydrogène pur produit, en brûlant (Péclet, *Traité de la chaleur*), 34742 calories.
1 kilogr. d'hydrogène protocarboné donne. . . . . 13,205
1 kilogr. d'hydrogène bicarboné donne. . . . . 12,032
1 kilogr. d'oxyde de carbone donne. . . . . 2,488

Si on divise 520,000 par ces nombres, on obtiendra les quantités suivantes de ces gaz qu'il faut employer, savoir :

Hydrogène pur. . . . . $\frac{520{,}000}{34{,}742} = 15^{k}.00$

Hydrogène protocarboné. . . . . $\frac{520{,}000}{13{,}205} = 38^{k}.40$

Hydrogène bicarboné. . . . . $\frac{520{,}000}{12{,}032} = 43^{k}.20$

Oxyde de carbone. . . . . $\frac{520{,}000}{2{,}488} = 208^{k}.00$

Avant de rechercher quel sera, sur les 31ᵏ de carbone sus-mentionnés, l'effet des produits de la combustion de ces gaz, voyons s'il n'en coûtera pas plus cher de se les procurer que d'employer simplement le carbone comme auparavant.

L'hydrogène pur n'est pas encore coté ; tous les jours on annonce des procédés économiques de fabrication de ce gaz, mais rien de positif n'a encore surgi.

L'hydrogène carboné est coté, mais à un prix trop élevé pour pouvoir être employé actuellement. Mais, si le procédé de M. *Knab*, dont nous avons déjà parlé (page 87) réussit, il est possible que le prix de ce gaz s'abaisse beaucoup. En le supposant un mélange des deux hydrogènes carbonés ci-dessus, il en faudrait environ 40 kilogr. représentant, à raison de 1ᵏ le m. c. (Péclet, *Traité de la chaleur*, t. Ier, § 270), 40 mètres cubes.

Quant à l'oxyde de carbone, il faut le préparer exprès avec des résidus de coke dans lesquels on injecte de l'air, et alors chaque mètre cube de gaz renferme 1/3 oxyde de carbone et 2/3 azote.

Digitized by Google

La question, ainsi posée, nous mènerait très-loin : nous ne craindrions pas néanmoins d'en aborder la solution, si elle était pratique; mais elle ne l'est pas.

Il n'est pas possible d'alimenter le haut fourneau par le ventre; il doit donc être alimenté par en haut, et alors perdre environ 55 pour 100 du calorique produit. Ce n'est donc plus alors 31 kilogr. de carbone qu'il faut introduire pour la réduction du minerai, mais

65 kilogr. environ, qui avec les 5 de la fonte font 70 kilogr.

70 kilogr., au lieu de 185, font 115 kilogr. seulement de carbone remplacé par les gaz.

Si on emploie l'oxyde de carbone, le gueulard, dans ce cas, en donne une forte partie; mais, comme cette partie, qui est tout bénéfice en bas, est perte en haut, l'opération présente peu d'intérêt.

Dans l'état actuel des choses, il n'y a qu'un progrès à réaliser; ce progrès, c'est la conversion intégrale du carbone brûlé en acide carbonique, au moment où il sort du gueulard.

### § 2. De la pression du vent.

La pression de l'air, dans l'ouvrage, est génératrice de la vitesse d'écoulement des gaz au travers des matières solides et liquides dont le haut fourneau est rempli; elle doit être d'autant plus forte que la résistance, au passage, est plus considérable et que la quantité de gaz à faire traverser est elle-même plus forte; car, dans ce dernier cas, la section d'écoulement étant constante, c'est par la vitesse que l'on obtient le volume.

La pression de l'air sortant de la buse doit être plus forte que celle de l'air renfermé dans l'ouvrage, parce qu'il existe, entre la *tuyère* et la *buse*, qui amène le vent, un espace annulaire qui permet de voir constamment dans l'intérieur du fourneau. Pour que l'air contenu dans l'ouvrage, et dont la pression est supérieure à celle de l'extérieur, ne s'échappe pas par cet espace annulaire, il faut nécessairement que la buse fasse *trompe*, c'est-à-dire ait, sur l'air extérieur, une puissance d'aspiration au moins égale à celle d'échappement de l'air intérieur.

Cette pression se détermine par expérience et varie, suivant les natures du combustible et du minerai, entre 2 et 8 centimètres de mercure pour hauts fourneaux au charbon de bois, et entre 8 et 16 centimètres de mercure pour hauts fourneaux au coke.

### § 3. De la température du vent.

Nous avons vu (page 85) que, pour obtenir de la fonte qui donne *peu de déchets* et dissolve *peu de matières étrangères*, il fallait que la température de fusion des laitiers fût non-seulement comprise entre la température à laquelle commence la réaction du carbone et de son oxyde sur le minerai, et la température à laquelle l'acier commence à entrer en fusion, mais encore aussi éloignée que possible de ces deux températures.

La température du haut fourneau allant en décroissant, depuis l'ouvrage jusqu'au gueulard, appelons $d$ la distance qui existe entre la couche où règne la température $t$ primitive de la réaction et la couche où règne la température $t'$ de fusion de l'acier.

Si $t''$ représente la température de fusion des laitiers, nous concluons de ce que nous venons de dire que, pour obtenir une fonte donnant peu de déchets et dissolvant peu de matières étrangères, il est à désirer que l'on ait : $t'' = \frac{t + t'}{2}$

et que la couche où règne $t''$ partage la distance $d$ en deux parties égales.

Digitized by Google

Supposons que, en soufflant à l'air froid, ce rêve est réalisé, et voyons ce qui va se passer quand nous aurons remplacé l'air *froid* par de l'air *chaud*.

Si le dosage en carbone reste ce qu'il était auparavant, il est évident que le calorique employé précédemment, dans l'ouvrage, au chauffage de l'air froid injecté sera diminué de tout celui que l'air chaud apporte avec lui. La température de l'ouvrage et, conséquemment, celles des couches voisines s'élèveront; mais, comme l'oxygène sera plus vite brûlé, étant plus chaud, l'effet ne se fera pas sentir très-loin : il se fera néanmoins sentir assez loin pour que la fusion de l'acier commence plus haut qu'auparavant, c'est-à-dire à une distance de la température $t''$ moindre que $1/2\ d$. La conséquence de ce fait sera nécessairement préjudiciable à la qualité de la fonte, en ce sens que cette dernière dissoudra plus de silicium et, probablement, de soufre et de phosphore qu'elle n'en dissolvait auparavant.

Si maintenant on réduit le dosage en carbone dans la proportion du calorique apporté par l'air chaud, l'allure du bas redevient ce qu'elle était auparavant, et la réaction dans le haut se ralentit; la distance de la couche affectant la température $t$ à la couche affectant la température $t''$ devient plus petite que $1/2\ d$, et alors le déchet augmente.

Ainsi, en ne changeant pas le dosage en carbone, la qualité du produit diminue, et son rendement augmente de toutes les matières étrangères qu'il dissout; dans le second cas, la qualité reste la même, mais le rendement est moindre.

Les deux modes, comme on le voit, ont leur raison d'être, industriellement parlant. Le premier est justifié par le rendement en fonte, le second est justifié par l'économie du charbon. Seulement, dans le second cas, il faut que l'économie du charbon soit réelle et non factice, c'est-à-dire qu'il n'en faille pas autant pour chauffer l'air qu'on en économise dans le haut fourneau. Mais il paraît que les choses ne se passent pas tout à fait comme nous venons de le définir; car, dans beaucoup de cas, il y a à la fois économie de combustible et augmentation dans le rendement de la fonte, c'est-à-dire dissolution d'une plus forte proportion de *silicium*. Nous concluons de là que l'air froid en contact dans l'ouvrage, avec du carbone dont la température est très-élevée, produit un refroidissement dont l'effet est de maintenir la température générale de cet endroit plus basse que quand on injecte de l'air chaud sur une proportion moindre de carbone.

Le résultat de l'emploi de l'air chaud serait donc, dans tous les cas, une accélération dans la fusion de l'acier. Il faut en conclure alors que l'emploi de l'air chaud a nécessairement pour conséquence de diminuer la distance $d$ et d'exposer le haut fourneau aux conséquences fâcheuses résultant d'un trop grand rapprochement entre les couches affectant les températures $t$, $t'$ et $t''$.

On peut remédier, en partie, à cet inconvénient en faisant l'ouvrage plus bas, puisque sa température est plus élevée, et la cuve plus évasée par le haut, afin que sa température autour de l'axe soit plus élevée, le refroidissement par les parois s'y faisant moins sentir.

Jusqu'ici, toutes les fois que l'on a chauffé l'air dans des conduits à parois métalliques, il n'a pas été possible de dépasser 300°. C'est donc la température sur laquelle il faut compter dans les calculs relatifs à la dépense de son chauffage et à l'économie dans le haut fourneau, quand on veut employer l'air chaud.

Nous avons exposé les avantages des deux systèmes de soufflage des hauts fourneaux. Bien que l'air chaud s'emploie depuis près de vingt-cinq ans, il existe encore un grand nombre de hauts fourneaux marchant à l'air froid. Il faut donc que les avantages que l'on retire de l'air chaud ne soient que relatifs et non absolus; sans cela, tous les hauts fourneaux seraient aujourd'hui soufflés à l'air chaud.



Digitized by Google

# TITRE II.

## DE LA PRÉPARATION DES MINERAIS.

---

Nous avons vu (page 80) que les minerais, bien que divisibles en six espèces distinctes, se réduisent à trois genres de combinaisons du fer, savoir :

Les oxydes anhydres ou hydratés,
Les carbonates,
Les silicates.

Nous avons vu, en outre, qu'ils se présentent sous trois états solides principaux, savoir :

En roches,
En grains,
En sable.

Enfin ils ne sont pas purs et renferment, à l'état de gangue, des matières terreuses dont la densité est moindre que celle de l'oxyde de fer.

Il y a donc lieu à :

1° Déterminer soit leur composition, quand on a des doutes sur la nature de la gangue, soit leur teneur en métal quand on connaît cette dernière;

2° Les *casser* s'ils sont en roches, les *trier* s'ils sont en *grains* et les laver s'ils sont en *terres*, de manière à les rendre tout à la fois facilement *décomposables* et aussi rapprochés que possible de la pureté *chimique* et de la pureté *mécanique* que leur nom comporte;

3° Les soumettre à la calcination préalable quand ils contiennent de l'*eau*, de l'*acide carbonique* et autres substances volatiles, afin d'éviter cette opération au haut fourneau et lui permettre ainsi d'*utiliser* à la réduction du minerai, sous l'influence de la température que lui laissent des matières fixes, la plus grande proportion possible de l'oxyde de carbone que le contact incessant de l'acide carbonique et du carbone tend à produire en pure perte, dans le voisinage du gueulard.

Nous allons passer successivement en revue ces trois opérations.

---

Digitized by Google

# CHAPITRE PREMIER.

## DE L'ESSAI DES MINERAIS.

L'analyse exacte des minerais est une opération de laboratoire qui est exclusivement du domaine de la chimie; elle peut être indispensable quand on soupçonne la présence, dans ces derniers, de substances nuisibles à la qualité du produit, telles que les *pyrites* de *fer* ou de *cuivre*, le *phosphore*, l'*arsenic*, etc., si on a pour but de faire de la fonte de première qualité; mais, s'il s'agit de fonte ordinaire, comme il faut, alors, employer les matières dont on dispose pures ou impures, l'analyse chimique, quoique utile, n'est pas indispensable et, pourvu qu'on puisse constater la présence de ces substances par le grillage ou autrement, cela suffit le plus souvent.

Envisagés sous le point de vue de la gangue dont ils sont imprégnés, les minerais se divisent en :

Minerais calcaires,
Minerais argileux,
Minerais siliceux,

et se reconnaissent,

Les premiers, parce qu'ils font effervescence avec les acides;

Les deuxièmes, parce qu'ils sont doux au toucher et happent à la langue après avoir été calcinés;

Les troisièmes, parce que, broyés en poudre, ils sont sablonneux et tant soit peu brillants.

Les minerais de fer carbonaté, quoique ne contenant pas de chaux, font effervescence avec les acides, mais ils diffèrent tellement des premiers, qu'il est très-facile de ne pas les confondre avec eux.

Quand les minerais contiennent du *soufre* à l'état de pyrite, si cette dernière est abondante, on la reconnaît à l'œil nu; si, au contraire, elle est en petite quantité ou décomposée, il suffit de griller le minerai pour en accuser la présence par le dégagement d'acide sulfureux qui a lieu. Il en est de même pour l'*arsenic*.

Quand on veut constater la présence du *phosphore*, qui est indispensable pour la fabrication de la fonte au coke, on traite le minerai par l'acide sulfurique bouillant pendant un quart d'heure; ensuite on étend la liqueur de trois ou quatre fois son volume d'eau, et on filtre. Si le minerai contient du phosphore, la liqueur filtrée ne tarde pas à se troubler et à déposer une poudre blanche, qui n'est autre chose que du phosphure de fer.

Quand on opère par la voie sèche, en vue de constater la teneur en métal et sa qualité, on prend une poignée de minerai accusant à l'œil sa composition moyenne; on la casse, on la lave, on la sèche et on la calcine au rouge dans un creuset, afin de dégager l'acide carbonique, s'il y en a; on a soin de tenir compte des pertes de poids subies par le minerai dans chacune de ces opérations. Cela fait, on le broie en poudre fine dans un mortier et on en pèse une quantité déterminée, 10 ou 20 grammes par exemple. On prend ensuite un fondant convenable, tel que le *borax*, préalablement calciné, le *spath fluor*, le *verre*, le *carbonate de chaux* pur ou marbre blanc; on le pulvérise et le mélange en une certaine proportion que nous déterminerons tout à l'heure avec le minerai dosé. On convertit ensuite le tout en une pâte, en ajoutant de l'huile d'olive petit à petit, puis cette pâte en une boule que l'on introduit jusqu'au fond d'un creuset *brasque*

Digitized by Google

avec du charbon de bois en poudre. On achève de remplir avec de la brasque de charbon, on met le couvercle qu'on lute avec de l'argile, et on soumet à un feu violent pendant trois quarts d'heure à une heure. Au bout de ce temps l'opération est terminée, et, si elle a été bien faite, on trouve au fond du creuset un culot de fonte recouvert d'un laitier vitrifié. Si, au lieu d'un simple culot, on trouve des globules de métal disséminés, l'essai est insuffisant et doit être recommencé. Si le laitier est noir, l'essai doit aussi être recommencé en augmentant la dose de fondants, parce que c'est une preuve que la silice est en excès dans le minerai et s'est saturée, en partie, au détriment du métal.

Quand on a obtenu un culot de fonte bien conformé et un laitier clair, l'opération peut être considérée comme terminée; alors on pèse le culot dont le poids, comparé à celui du minerai employé, représente le rendement en fonte. On place ensuite le culot sur une enclume et le frappe à coups de marteau, pour reconnaître sa malléabilité, jusqu'à ce qu'il se casse.

Il présente alors l'une des trois textures : fonte *grise*, fonte *truitée* et fonte *blanche*. Quand il est fonte *grise* de bonne qualité, il se laisse longtemps aplatir avant de rompre; quand il est fonte *blanche*, comme le refroidissement a été lent, c'est une preuve qu'il n'est pas pur et pourrait bien contenir du soufre (page 51) et ne contient probablement pas de phosphore (page 52).

En général, les culots de fonte blanche proviennent d'un chauffage insuffisant et sont accompagnés de globules. Comme il est impossible, à notre avis, d'attribuer la formation de fonte blanche à la faible teneur en carbone, il faut nécessairement conclure de ce fait que les compositions de la fonte *grise* et de la fonte *blanche* provenant d'un même minerai ne sont pas les mêmes, et que la trempe n'a lieu par refroidissement lent que sous l'influence du *soufre* ou d'un autre corps, qui s'évapore plus intégralement quand le chauffage est suffisamment prolongé que quand il est trop tôt interrompu.

. Il résulte de là qu'un essai qui donne de la fonte blanche doit être recommencé plusieurs fois, et que, si le culot persiste à tremper, même après chauffage prolongé, c'est une preuve que bien certainement le métal contient du soufre ou une autre substance qui pousse à la trempe et ne l'abandonnera pas dans le traitement en grand.

Ce que nous disons pour la fonte blanche s'applique également à la fonte truitée. Quelque extraordinaire que puisse paraître cette manière de voir, elle est la conséquence de notre théorie des carbures de fer et, nous le répétons, le fer pur et le carbone pur, saturés liquides et refroidis lentement, doivent donner de la fonte grise et pas d'autre.

Pour déterminer la proportion de fondant que l'on doit employer pour arriver le plus promptement possible à une solution, il faut s'en rapporter un peu à l'expérience. On a remarqué que les minerais riches réussissent bien à l'essai, quand on y ajoute 1/10 de chaux fluatée ou carbonatée et 1/10 de borax en poids.

Les minerais siliceux exigent 1/5 de chaux fluatée et 1/4 de chaux carbonatée.

Les minerais terreux comportent une plus grande proportion de fondants, soit 1/10 borax, 1/5 chaux fluatée et 1/5 chaux carbonatée.

Les minerais hydratés, granuleux et limoneux se réduisent bien avec 1/10 de borax, 1/4 chaux fluatée et 1/4 chaux carbonatée.

Les carbonatés spathiques se réduisent bien avec 1/5 à 1/4 de borax.

Enfin les carbonatés lithoïdes exigent moitié carbonate de chaux et 1/4 verre pilé. On peut aussi employer moitié chaux carbonatée et moitié borax, ou 1/10 borax, 1/4 chaux carbonatée et 1/4 verre pilé.

Toutes ces proportions ne sont pas rigoureuses, mais indiquent suffisamment par laquelle il convient de commencer les essais.

Digitized by Google

### Des fourneaux d'essai.

Quand l'essai des minerais est accidentel, on peut, sans inconvénient, se servir du feu de forge de maréchalerie bien soufflé; mais, quand il s'agit de faire de nombreux essais, le mieux est de construire un four spécial, analogue aux fours employés pour fondre l'acier au coke, avec cheminée tirant bien, ou soufflés. En effet, d'après ce que nous avons dit (page 56) dans l'introduction, le minerai ne pouvant devenir fonte liquide qu'après s'être préalablement converti en *fer*, *acier cémenté* et acier *fondu*, il faut, pour qu'un essai réussisse et donne un culot de fonte, qu'il ait subi, pendant un temps suffisamment long, la température que comportent la fusion de l'acier saturé, solide, et la saturation de cet acier liquide. Les fig. 1, 2, 3, 4 (pl. 1re) de notre atlas représentent, en plan, coupe et élévation, un fourneau d'essai de l'usine de Vienne (Isère), construit par M. *Walter de Saint-Ange*, que nous avons copié à Marquise et qui nous a donné de très-bons résultats, savoir :

Fig. 1. Élévation.

Fig. 2. Coupe transversale, suivant A B de la fig. 1.

Fig. 3. Coupe longitudinale, suivant E F de la fig. 2.

Fig. 4. Coupe horizontale, suivant C D de la fig. 2.

Le cendrier est fermé par une porte et reçoit le vent forcé par le conduit *a*. Le creuset est introduit dans le four par la porte *b* et placé sur un fromage en terre cuite qui repose sur la grille. Le combustible employé est le coke de première qualité. Il importe que ce four soit construit en briques réfractaires, ainsi que sa cheminée sur une hauteur de 3 mètres environ. Bien que le coke ne donne pas de flamme, la température énorme qui règne dans l'appareil se communique en partie à la cheminée.

### Du laboratoire.

Le laboratoire pour les essais des minerais est simple ou compliqué suivant le degré d'exactitude que l'on veut obtenir. Quand on ne veut employer que la voie sèche, le laboratoire se compose d'un fourneau analogue à celui que nous venons de décrire, et de balances, fondants, creusets, etc. Mais, si on veut faire des analyses qualitatives et quantitatives exactes, il faut avoir recours à la voie humide, et alors le laboratoire doit contenir un assortiment de réactifs et instruments divers qui en font une partie importante de l'usine.

M. *Barre*, ingénieur et essayeur du commerce, à Marseille, a publié, dans le *Bulletin de la Société minérale de Saint-Étienne* (t. Ier, page 221), un devis du mobilier composant un laboratoire complet d'essais pour les substances minérales. Bien que, pour les minerais de fer, ce devis soit beaucoup trop compliqué, nous le donnons en entier, chacun pouvant en extraire ce qui lui paraît indispensable.

#### 1° *Balances et poids.*

| | |
|---|---|
| 1 balance d'essayeur, avec niveau à bulle d'air, boîte de poids, lime; sensible au 1/8 de milligramme. Emballage et transport compris . . . . . | 500 fr. » c. |
| 1 balance à analyse, avec boîte de poids, sensible au milligramme. Emballage | |
| *A reporter. . .* | 500 fr. » c. |

Digitized by Google

| | | |
|---|---|---|
| | *Report*. . . . . | 500 fr. » c. |
| | et transport compris. . . . . | 170 » |
| 1 | trébuchet avec poids, sensible au centigramme. . . . . | 36 » |
| 1 | balance commune de Roberval, pouvant peser 5 kilog. . . . . | 50 » |
| 1 | boîte de poids de 5 kilog. gainée en velours. . . . . | 68 » |
| | Total. . . . . | 824 fr. » c. |

### 2° *Réactifs.*

| | | |
|---|---|---|
| 0k,500 | chlorure de barium pur en cristaux. . . . . | 3 fr. » c. |
| 0k,500 | azotate de baryte pur en cristaux. . . . . | 3 » |
| 0k,500 | borax fondu ordinaire. . . . . | 5 » |
| 2k,300 | ammoniaque ordinaire. . . . . | 1 85 |
| 0k,550 | ammoniaque pure. . . . . | 1 65 |
| 0k,500 | oxalate d'ammoniaque pur en cristaux. . . . . | 7 » |
| 0k,500 | phosphate d'ammoniaque pur id. . . . . | 6 » |
| 0k,500 | prussiate jaune. . . . . | 2 50 |
| 0k,250 | potasse pure. . . . . | 6 25 |
| 4k,500 | carbonate de potasse ordinaire. . . . . | 6 75 |
| 0k,100 | chlorate de potasse. . . . . | » 70 |
| 1k,100 | sulfhydrate d'ammoniaque. . . . . | 11 » |
| 4k,000 | carbonate de soude sec. . . . . | 5 20 |
| 2k,160 | acide azotique pur. . . . . | 4 85 |
| 0k,450 | acide sulfurique pur. . . . . | 1 05 |
| 2k,000 | acide chlorhydrique pur. . . . . | 4 50 |
| 0k,250 | acide acétique pur. . . . . | » 75 |
| 1k,000 | azotate de potasse. . . . . | 3 » |
| 2k,000 | soude à la chaux. . . . . | 8 » |
| 0k,120 | tournesol en pains. . . . . | » 50 |
| 0k,500 | sulfocyanure de potassium en cristaux pour le dosage du cuivre par le procédé de M. Rivot. . . . . | 13 » |
| | Total. . . . . | 97 fr. 55 c. |

### 3° *Fourneaux.*

| | | |
|---|---|---|
| 2 | fourneaux à vent. . . . . | 500 fr. » c. |
| 1 | grand fourneau pour les essais des substances minérales. . . . . | 600 » |
| 1 | fourneau de coupelle avec 4 moufles de rechange, chaque moufle pouvant contenir 3 coupelles de 12 grammes de front. Emballage et transport compris. . . . . | 72 » |
| 6 | petits fourneaux à main. . . . . | 9 » |
| 2 | fourneaux à main un peu plus grands que les précédents. . . . . | 9 » |
| | Total. . . . . | 1,190 fr. » c. |

Digitized by Google

*4° Instruments, ustensiles, accessoires divers.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | chalumeau avec 2 bouts platine | 12 fr. | » c. |
| 1 | barreau aimanté (dans un étui) | 4 | » |
| 1 | aréomètre Baumé de 19° à 25° | 2 | 50 |
| 1 | id. id. de 28° à 34° | 2 | 50 |
| 1 | id. id. de 63° à 69° | 2 | 50 |
| 1 | thermomètre marquant 135° | 12 | » |
| 1 | augette | 6 | » |
| 1 | loupe | 10 | » |
| 1 | capsule platine de 23 grammes | 27 | 70 |
| 1 | creuset id. de 35 id. | 44 | » |
| 1 | spatule id. de 9 id. | 12 | » |
| 4 | capsules platine plates et numérotées pour l'incinération des combustibles | 75 | » |
| 1 | mortier en agate et son pilon. (Diamètre du mortier, 0m,065.) | 13 | » |
| 1 | étuve système Rousseau | 26 | » |
| 1 | petit marteau de minéralogie | 3 | » |
| 14 | limes et râpes assorties | 15 | » |
| 1 | lampe en cristal | 2 | » |
| 1 | lampe cuivre à double courant d'air | 22 | » |
| 4 | creusets biscuits-porcelaine avec couvercle. (Hauteur, 0m,045; ouverture, 0m,045.) | 2 | » |
| 100 | creusets terre réfractaire n° 2, marqués Beaufay | 15 | » |
| 100 | id. id. n° 3, id. | 20 | » |
| 100 | id. id. n° 6, id. | 40 | » |
| 50 | tests à griller de 0m,07 à 0m,09 | 5 | 25 |
| 300 | coupelles de 12 à 21 grammes | 22 | 10 |
| 100 | coupelles de 50 à 90 grammes | 47 | 50 |
| 2 | capsules porcelaines de 0m,25 | 12 | » |
| 2 | id. id. de 0m,19 | 6 | » |
| 3 | id. id. de 0m,14 | 5 | » |
| 4 | capsules porcelaines de 0m,10 | 3 | 60 |
| 6 | id. id. de 0m,08 | 3 | » |
| 6 | id. id. de 0m,045 | 3 | » |
| 48 | bouchons liége fin de 0m,025 à 0m,05 | 12 | 50 |
| 6 | tubes en *S* | 4 | 80 |
| 50 | matras d'essayeur | 6 | » |
| 36 | verres à pied de 50 à 150 grammes | 7 | 80 |
| 1 | éprouvette graduée de 1 litre | 7 | » |
| 6 | éprouvettes ordinaires | 6 | » |
| 24 | conserves de 1 litre | 24 | » |
| 6 | flacons à 3 tubulures, 1/2 litre | 4 | » |
| | *A reporter* | 547 fr. | 75 c. |

Digitized by Google

| | | | |
|---|---|---|---|
| | *Report.* . . | 547 fr. | 75 c. |
| 2l,000 | tubes à dégagement | 3 | 60 |
| 6 | cornues tubulées de 1 litre | 4 | 50 |
| 18 | entonnoirs assortis | 4 | 20 |
| 36 | cornues verre vert pour l'essai des minerais d'antimoine et celui des combustibles | 10 | 80 |
| 6 | allonges assorties | 1 | 20 |
| 24 | matras fond plat de 0l,750 à 4 litres | 15 | 50 |
| 100 | matras fond plat de 0l,080 à 0l,40 | 4 | » |
| 12 | conserves de 250 grammes | 7 | 50 |
| 100 | petits bocaux de 60 grammes pour échantillons | 8 | » |
| 6 | vases à précipité de 2 litres | 5 | 80 |
| 6 | pipettes | 3 | 30 |
| 1 | burette graduée | 6 | » |
| 0k,500 | baguette verre | 1 | » |
| 4 | tubes en *U* | 2 | 80 |
| 60 | flacons de 1/2 à 1/8 litre bouchés à l'émeri, à étiquette vitrifiée | 61 | » |
| 6 | tubes à entonnoir | 2 | » |
| 1 | soufflet | 1 | » |
| 2 | aspirateurs tôle | 14 | » |
| 1 | pique-feu | » | 75 |
| 1 | enclume avec billot et coussin en paille pour mettre sous le billot | 52 | » |
| 1 | pince à coupelle | 5 | » |
| 1 | pelle à cases de 20 compartiments pour coupelles | 6 | » |
| 2 | tamis toile de soie de 0m,14 de diamètre | 2 | » |
| 2 | tamis toile de Venise id. id. | 4 | » |
| 1 | tamis laiton de 0m,40 de diamètre (avec des mailles de 0m,01) | 3 | » |
| 1 | tamis laiton de 0m,40 de diamètre (avec des mailles de 0m,003) | 3 | » |
| 1 | tamis laiton très-fin de 0m,25 de diamètre | 2 | » |
| 2 | mortiers en fonte tournés à l'intérieur | 45 | » |
| 1 | mortier ordinaire de 0m,40 de profondeur | 16 | » |
| 100 | creusets cornets pour or | 20 | » |
| 6 | pinces en bois pour ballons et matras | 8 | 50 |
| 1 | cisaille fine | 5 | » |
| 1 | pince pour boutons d'argent | 4 | » |
| 1 | pince Bruxelles | 2 | » |
| 1 | brosse d'essayeur pour boutons d'argent | 3 | » |
| 1 | poire en caoutchouc pour pissette | 1 | 50 |
| 6 | pinces de diverses formes | 18 | » |
| 3 | mains papier à filtrer | 1 | 80 |
| 0k,320 | feuilles caoutchouc | 5 | » |
| 190 | grammes tubes de caoutchouc | 5 | » |
| 12 | volets en paille assortis | 6 | » |
| 6 | grilles triangulaires de 0m,10 à 0m,25 de côté | 8 | » |
| | *A reporter.* . . | 930 fr. | 50 c. |

Digitized by Google

| | | |
|---|---|---|
| | *Report*. . . | 930 fr. 50 c. |
| 2 grilles en fer de $\frac{0,20}{0,20}$ avec des mailles de 0m,05 de côté. . . . . | 4 | 50 |
| 2 grilles de $\frac{0,20}{0,20}$ avec grillage en fil de fer. . . . . | 2 | 20 |
| 1 pelle ordinaire. . . . . | 1 | 20 |
| 1 fontaine à eau distillée. . . . . | 10 | » |
| 3 marteaux de différentes grosseurs. . . . . | 15 | » |
| 1 petite hache. . . . . | 2 | » |
| 1 tonneau pour l'eau avec un robinet. . . . . | 8 | » |
| 3 lingotières fonte plates, la première de $\frac{0,30}{0,20}$ et 0m,05 de profondeur, la deuxième $\frac{0,20}{0,15}$ et 0m,04 de profondeur, la troisième de $\frac{0,15}{0,10}$ et 0m,03 de profondeur. . . . . | 12 | » |
| 1 longue pince pour creusets du fourneau à vent. . . . . | 7 | 50 |
| 6 creusets en fer pour essais de plomb. . . . . | 48 | » |
| 1 moule en fer pour y couler lesdits essais. . . . . | 0 | » |
| 2 burins acier. . . . . | 4 | » |
| 1 cruche en terre. . . . . | 1 | » |
| 1 cuve en grès. . . . . | 1 | » |
| Cuillers, baguettes en fer, objets de détails. . . . . | 15 | » |
| Total. . . . . | 1,061 fr. | 90 c. |

5° *Mobilier.*

| | | |
|---|---|---|
| 1 armoire à réactifs dans le laboratoire. . . . . | 35 fr. | » c. |
| 1 grande table à deux tiroirs id. . . . . | 35 | » |
| 1 petite table pour tonneau à eau id. . . . . | 8 | » |
| 1 grande table pour supporter les balances dans la salle desdites. . . . . | 55 | » |
| 1 table à écrire dans la salle des balances . . . . . | 25 | » |
| 1 armoire à vingt tiroirs id. . . . . | 35 | » |
| 6 chaises ordinaires. . . . . | 24 | » |
| Total. . . . . | 217 fr. | » c. |

6° *Ouvrages.*

| | | |
|---|---|---|
| Traité des Essais par la voie sèche de Berthier . . . . . | 30 fr. | » |
| Précis d'analyse chimique qualitative et quantitative, par Frésénius et Sacc. . . . . | 6 | » |
| De l'emploi du chalumeau dans les analyses chimiques, par Berzélius. . . . | 6 | » |
| Id., par Laurent . . . . . | 2 | » |
| Total. . . . . | 44 fr. | » c. |



Digitized by Google

RÉSUMÉ.

| | | |
|---|---|---|
| 1° Balances et poids | 824 fr. | » c. |
| 2° Réactifs | 97 | 55 |
| 3° Fourneaux | 1,190 | » |
| 4° Instruments, ustensiles, accessoires divers | 1,067 | 90 |
| 5° Mobilier | 217 | » |
| 6° Ouvrages | 44 | à |
| TOTAL GÉNÉRAL | 3,440 fr. | 45 c. |

## CHAPITRE II.

### DE LA PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINERAIS DE FER.

La préparation mécanique des minerais de fer comprend trois opérations principales, savoir :

Le *triage*, qui consiste à nettoyer, choisir et cribler le minerai ;

Le *cassage*, qui a pour but de diviser les minerais en roches afin de rendre leur réduction et leur fusion plus faciles;

Le *lavage*, qui a pour but de séparer le minerai de la gangue dans laquelle il est engagé.

#### 1° Triage.

Le triage se subdivise, pour certains minerais, en quatre sortes d'opérations :

Dans la première, la seule dont il sera question ici, on nettoie le minerai, on en sépare la boue grossière qui l'enveloppe : cette opération a été nommée, dans quelques mines, *débourbage*;

Dans la deuxième on brise ou on broie les minerais pour séparer ce qui est métal d'avec les parties stériles;

Dans la troisième on fait le triage à la main : on met à part les morceaux plus ou moins riches :

Dans la quatrième, enfin, on crible le minerai ainsi séparé.

*Débourbage.*

Le débourbage peut se faire de différentes manières. Dans les mines où on extrait le minerai par une galerie d'écoulement, cette opération se fait au sortir de la mine. On renverse les brouettes dans le courant d'eau, et on remue le minerai avec un râble ou une pelle, et l'on peut déjà séparer le minerai pur et massif. Dans les mines où l'on extrait le minerai par un puits et où l'on n'a pas de ruisseau pour faire ce premier débourbage, on lave le minerai dans une auge en bois dans laquelle on fait arriver un filet d'eau. Les eaux de cette caisse sont reçues dans une seconde pour y déposer les parties métallifères. Une troisième manière de débourber les minerais consiste dans un lavage plus complet que ceux dont nous venons de parler. Il est usité dans quelques mines de fer et de calamine : on l'appelle lavoir à gradins. C'est un encaissement en

Digitized by Google

bois, ou en pierre, de forme carrée ou rectangulaire : sa profondeur n'est quelquefois que de 2 à 3 décimètres; il a 1 mètre à 1 mètre 1/2 de côté. On fait arriver, par une des extrémités, un courant d'eau; à l'autre est une bonde qui ferme un petit canal communiquant à un second encaissement qui reçoit les eaux du premier. On apporte le minerai sur le bord, on l'amène peu à peu avec le râble au courant d'eau. Cette opération est répétée quatre ou six fois; la vase est entraînée dans le second réservoir.

#### 2° Cassage.

Après le débourbage vient le cassage. Ce cassage, qui est nécessaire pour séparer les gangues, peut se faire ou à l'aide d'un marteau ou d'une masse plate, ou bien avec un martinet, ou enfin sous les pilons d'un bocard. Le cassage au marteau est simple. Si le minerai a peu de valeur, il se fait à l'air. Les ouvriers sont à terre et ont entre leurs jambes une masse de pierre ou de fer, sur laquelle ils appuient les morceaux qu'ils veulent casser. Le marteau dont ils font usage pèse un demi-kilogramme. Si le minerai est plus précieux, le cassage se fait sous un hangar; les ouvriers sont appuyés sur des bancs, et ont devant eux une table solide sur laquelle ils cassent les morceaux de minerai. Ils font en même temps le triage à la main; ils mettent à part les minerais riches, ceux qui doivent être envoyés au bocard et les rebuts.

### Du bocardage.

L'art de bocarder les minerais, c'est-à-dire de les réduire en poudre ténue pour séparer ainsi la gangue qu'ils contiennent, ne date pas, à ce qu'il paraît, de loin. C'est vers le sixième siècle que les minerais ont été bocardés pour la première fois.

Un bocard se compose (fig. 5 et 6) d'une auge dans laquelle on jette les minerais à écraser, et dans laquelle on fait battre des masses de pilons qui jouent dans l'auge; d'un arbre armé de cames pour soulever les pilons; enfin de bassins successifs remplis d'eau, dans lesquels on fait arriver et déposer les poussières qui sortent de dessous les pilons.

#### *De l'auge.*

Pour former l'auge du bocard, on commence ordinairement par creuser dans le sol une fosse de 1 mètre 65 centimètres de profondeur sur 5 mètres de long et 2 mètres de large; au fond de cette fosse, on place 33 centimètres d'argile ou de glaise; on établit ensuite, aux deux bouts et au milieu de cette fosse, 3 pièces de bois transversales (nous considérons ici le cas d'une auge à deux batteries); puis, sur ces traverses on élève deux montants verticaux qui s'élèvent jusqu'au niveau du sol : la distance de ces montants est d'environ 65 centimètres. En arrière de ces pièces, on attache deux arcs-boutants destinés à les maintenir dans la position verticale.

Une fois ces fermes ainsi établies, on place 4 pièces de bois pour garnir les deux extrémités de l'auge. On forme ainsi une auge rectangulaire dont toutes les pièces se tiennent d'elles-mêmes. Cela fait, l'intervalle se trouve réduit à la largeur de 65 centimètres, les pièces de bois ayant 16 centimètres d'épaisseur. On bouche exactement les joints avec de la mousse. On ajoute ensuite, dans l'intérieur, d'autres madriers, qui ont aussi une épaisseur de 16 centimètres, ce qui réduit la largeur à 33 centimètres; puis sur le fond on place une pièce de bois qui a 33 centimètres d'équarrissage, qui repose sur les trois pièces fondamentales, et qui sert de fond à l'auge. Enfin, sur cette poutre on élève trois colonnes, une à chaque extrémité et la troisième au milieu. Ces colonnes ont environ 5 mètres de hauteur, et sont fixées, par des boulons de fer, avec l'auge.

Digitized by Google

Pour consolider cet assemblage, on tasse de la pierre, que l'on a écrasée. Il reste au-dessus de ce fond 33 centimètres environ. Outre les boulons de fer et la pierre dont nous avons parlé, on se sert encore, pour maintenir les colonnes, de deux pièces qui embrassent le pied de ces colonnes à fleur de terre. Ces pièces sont entaillées sur la face verticale de manière à pouvoir s'accrocher sur la colonne du milieu; elles portent aussi une entaille en dessous pour s'adapter sur les deux montants verticaux. Les trois colonnes partagent l'auge en deux compartiments que l'on nomme batteries. Ces colonnes présentent, dans leur longueur, des entailles dans lesquelles viennent s'assembler des pièces plates dites moises. C'est entre deux colonnes et les moises que jouent les pilons.

### *Des pilons.*

Les pilons sont formés en bois de hêtre, de chêne ou de mélèze : ils ont une longueur de 4 mètres sur 13 centimètres de largeur et 16 d'épaisseur ; ils se terminent par une masse en fonte rectangulaire : l'assemblage avec la flèche du pilon se fait au moyen d'une partie cylindrique cannelée, soit horizontalement, soit en biais, comme un pas de vis, et qui entre dans le bois, où elle est fixée invariablement. Pour empêcher les pilons de s'incliner à droite ou à gauche, les flèches sont traversées de chevilles qui les séparent les unes des autres.

### *De l'arbre à cames.*

Le pilon ainsi formé est percé d'une mortaise dans laquelle on place le mentonnet qui doit servir à le soulever. C'est une pièce de bois qui est rectangulaire, et qui a 65 centimètres de longueur. La mortaise dans laquelle entre cette pièce a une hauteur plus grande que le tenon : l'intervalle restant est rempli avec un coin de bois, qui permet de faire varier à volonté la hauteur du mentonnet; par là on augmente ou on diminue la durée du temps pendant lequel le pilon est soulevé. Quand un même arbre fait marcher plusieurs batteries de pilons, et que l'on veut en faire cesser un de jouer, on le soulève de manière à soustraire le mentonnet à l'action de la came. Cette opération s'exécute au moyen d'un treuil.

Les cames qui soulèvent le mentonnet doivent être distribuées dans un certain ordre sur l'arbre de la roue qui les fait mouvoir, et qui est ordinairement une roue hydraulique. En général, le même pilon est levé trois fois pour une révolution de l'arbre, c'est-à-dire que 3 cames devront être sur une même circonférence; quelquefois, mais rarement, on en place quatre, il y a donc trois fois autant de cames que de pilons : ainsi, pour deux batteries à cinq pilons, il y aura 30 cames. Pour placer ces cames convenablement, on commence par tracer, sur la partie cylindrique de l'arbre, des cercles correspondant à l'axe des pilons. On divise le premier cercle en autant de parties égales qu'il doit y avoir de cames; puis, par chaque division, on tire des lignes parallèles à l'axe, qui vont répéter autant de divisions dans les autres cercles. On choisit ensuite la première intersection, pour placer la came qui soulèvera le premier pilon de la première batterie; à 120° plus loin on place la deuxième came, et à 120° plus loin encore la troisième. Ainsi la première came sera placée sur l'intersection 1, la deuxième sur l'intersection 11, la troisième sur celle 21. Le second pilon qui doit être soulevé après le premier n'est pas le second par ordre, mais le premier de la seconde batterie. La première came devra être placée sur la parallèle 2, la deuxième sur la parallèle 12, la troisième sur celle 22. S'il y avait trois batteries, le premier pilon qui devrait se lever après les deux précédents serait le premier de la troisième batterie : la première came serait placée sur la parallèle 3, et ainsi de suite.

Digitized by Google

*Des cames.*

Les cames dont on fait usage ordinairement sont implantées sur l'arbre; ce sont des cames en bois arrondi; quand la levée doit être courte, on les forme en fer et on leur donne une grande courbure. Enfin on a encore proposé d'employer des cames en fonte dont la courbure est la développante du cercle. L'avantage que présente cette disposition, c'est que, lorsque l'arbre se meut avec une vitesse uniforme, le pilon est soulevé lui-même avec une vitesse uniforme, ce qui peut être avantageux dans certains cas; toutefois l'inconvénient est que le pilon est obligé de prendre, dès le premier instant, toute la vitesse que doit lui donner la machine, tandis qu'il vaut mieux que cette vitesse aille en croissant depuis zéro.

### 3° Lavage.

C'est par le lavage que l'on parvient à séparer les gangues, les terres des minerais, et même les différentes sortes de minerais entre elles. Le lavage est fondé sur ce principe, que, dans l'eau, les substances s'arrangent et se déposent suivant leurs diverses pesanteurs spécifiques. Dans une eau tranquille, les substances les plus pesantes tomberont plus vite que celles qui le sont moins. Dans une eau agitée, celle d'un crible par exemple, les substances se déposeront par couches dans l'ordre de leurs pesanteurs. Dans une eau courante, les plus pesantes se déposeront le plus près du point de départ, et les plus légères le plus loin. Ces dépôts seront déterminés par la pesanteur spécifique du liquide, par le plus ou moins de grosseur des morceaux de minerai ou du sable, par le repos ou le mouvement absolu ou relatif du liquide, par la vitesse du courant.

La deuxième cause qui peut influer sur la séparation des substances suspendues dans le liquide, est la grosseur des molécules. Deux molécules homogènes, inégalement grosses, se déposent d'autant plus vite, dans une eau stagnante ou courante, qu'elles sont plus grosses. Deux molécules hétérogènes peuvent tomber avec la même vitesse et se déposer ensemble, si la plus légère est plus grosse que la plus pesante. En général, le lavage ne peut bien se faire que quand les molécules sont réduites à la même grosseur et quand les plus légères ont le plus de volume.

La troisième cause est le mouvement ou le repos du liquide: il peut avoir une grande influence sur la séparation des substances hétérogènes. Si l'eau qui contient plusieurs substances de nature et de pesanteur différentes est en repos, le dépôt successif aura lieu comme nous l'avons indiqué. Si l'eau, ainsi chargée, arrive dans un bassin où elle reste stagnante, les dépôts seront mélangés. Si l'eau est courante, les molécules les plus pesantes se déposeront le plus près du point de départ, et les moins pesantes d'autant plus loin qu'elles seront plus légères.

La quatrième et dernière cause est la vitesse du courant. Plus la vitesse sera grande, plus les dépôts se feront loin et plus ils seront éloignés les uns des autres. En augmentant la vitesse du courant et la profondeur verticale du liquide, on facilitera la séparation des molécules de différentes grosseurs.

Le *lavage* s'applique spécialement aux minerais *arénacés*, *granuleux* et limoneux, ainsi qu'aux minerais en roches mélangés de terres, et s'exécute de différentes manières, savoir :

Si les terres sont peu adhérentes, on choisit un terrain en pente A D (fig. 7), sur lequel on établit deux bassins étagés B, C, et une plate-forme A. Les bassins sont munis, chacun, d'une vanne E, E'. Le minerai est apporté en A et on le fait descendre, en quantité suffisante, dans le bassin B; puis on fait arriver de l'eau et on remue le minerai avec un râble. Quand le bassin B est plein, il

Digitized by Google

déborde et entraîne les terres par un conduit ménagé à la partie supérieure. Quand le minerai paraît suffisamment lavé, on ouvre la vanne E et on le fait passer dans le bassin C, où il est encore lavé de la même manière; ensuite on le jette à la pelle sur des plates-formes ménagées de chaque côté du bassin C.

Quand on a de grandes quantités de minerais à laver, on emploie le *patouillet* (fig. 5 et 6).

Le patouillet des mines de fer se compose d'un arbre horizontal auquel on imprime un mouvement rotatoire au moyen d'une roue hydraulique placée sur le prolongement. Cet arbre est muni de bras en fer ordinairement au nombre de trois. Ces bras pénètrent dans une caisse en bois dans laquelle on met le minerai. On charge jusqu'au tiers et, quand le minerai est fin, jusqu'aux deux tiers des bras. L'eau arrive continuellement dans la bâche : en imprimant le mouvement au patouillet, le minerai se trouve nettoyé, et la vase, entraînée par l'eau, sort par une ouverture que l'on ouvre ou que l'on ferme au moyen d'une vanne. Ce mode de lavage est économique.

Quand les minerais terreux sont en roches, il est avantageux de réunir le bocard aux patouillets, comme nous l'avons indiqué dans les figures 5, 6 et 7.

Dans les autres cas, on préfère ne bocarder les minerais en roches qu'au sortir du grillage, pour les motifs que nous donnerons ci-après.

---

## CHAPITRE III.

### DU GRILLAGE.

Le grillage, ou calcination des minerais, est une opération qui a pour but tantôt de rendre plus friables et plus faciles à casser les minerais en *roches* qui, leur état de propreté ne nécessitant pas le lavage, passent directement de la mine au bocard; tantôt, au contraire, de les préparer à la macération, en décomposant les sulfures qu'ils contiennent.

Dans le premier cas, il a pour effet d'évaporer l'eau et l'acide carbonique, et faire ainsi une partie de la besogne qui incomberait au fourneau. Dans le second cas, il n'enlève réellement que l'*acide carbonique* et une partie du *soufre*, puisque la macération à l'air ne peut s'effectuer sans eau.

Bien qu'on ne pratique pas cette opération pour tous les minerais, on peut dire que tous ne pourraient que gagner à la subir, ainsi que la *macération*, car il en est bien peu qui ne contiennent des sulfures soit de *fer*, soit de *cuivre*.

Le grillage peut s'opérer soit par procédé intermittent, soit par procédé continu. L'appareil le plus convenable, dans le premier cas, est le four à réverbère; le plus convenable dans le second, au contraire, est le four à chaux légèrement modifié, représenté dans les figures 8 et 9 (pl. 2).

Ces deux appareils diffèrent entre eux, quant aux résultats, en deux points, savoir :

Dans le four à réverbère, le minerai n'est pas en contact avec le combustible, mais seulement avec sa flamme, et, si ce dernier est de la houille, il suffit d'un autel un peu élevé pour éviter l'action du soufre de cette dernière sur le minerai. Cependant, s'il s'agissait de minerais parfaitement purs, il se pourrait bien que la flamme de la houille eût une action sur eux.

En second lieu, quand le minerai est en *grains* ou en *sable*, il n'est guère possible de le calciner pur dans le four continu; le four à réverbère convient donc alors parfaitement dans ce cas.

Dans le four continu, au contraire, le minerai est en contact avec le combustible, et si ce der-

Digitized by Google

nier est du coke ou des *grésillons*, comme dans les hauts fourneaux au coke, il est difficile de l'empêcher d'absorber une partie du soufre que ce dernier renferme encore. Ce n'est pas un grand inconvénient quand le minerai est destiné à la fabrication de la fonte au coke, mais c'en serait un pour la fabrication de la fonte au charbon de bois. Il faut donc, de toute nécessité, dans ce dernier cas, opérer la calcination au charbon de bois ou au poussier de charbon de bois, ce qui n'est pas aussi facile qu'avec les grésillons.

Une précaution qu'il importe de prendre, quand on calcine les minerais, en vue d'améliorer leur qualité, c'est de ne pas mélanger ceux qui contiennent du soufre avec ceux qui n'en contiennent pas, parce qu'alors ce dernier, au lieu de s'évaporer hors du four, se porte sur le minerai qui n'en contient pas. En outre, les minerais, une fois grillés ensemble, sont soumis ensemble à la macération, et l'acide sulfurique produit, se trouvant en présence d'une plus grande quantité d'oxyde, en souillerait une plus forte proportion.

Quand on emploie les fours continus et les *grésillons* de coke, la consommation du combustible varie entre 5 et 8 pour 100 de minerai grillé. Dans les dimensions de la figure 8, les fours continus produisent, par jour, de 12,000 à 15,000 kilogrammes de minerai grillé.

Quelque faible que soit la quantité de combustible consommée par rapport au minerai grillé, elle représente encore, pour un grillage de 15,000 kilogrammes par jour, 750 kilogrammes de combustible. Or, quand les soufflerles sont mues par l'eau, on peut être désireux de faire l'économie de ce combustible, en appliquant au grillage des minerais la chaleur perdue des gaz du haut fourneau. Nous avons parlé (page 92) de l'appareil imaginé, à cet effet, par M. *Houldworth*; les figures 10 et 11, empruntées au *Génie industriel* de MM. *Armengaud* frères, représentent la disposition adoptée par cet ingénieur.

Dans l'appareil de M. *Houldworth*, les gaz, sortant du haut fourneau, se rendent soit en dessus, soit en dessous de deux grilles *a* alimentées par de la houille ou du coke, dont le but est de faciliter la combustion de l'oxyde de carbone au moyen d'une introduction d'air qui a lieu dans le foyer. Les gaz brûlés se rendent ensuite dans le four de grillage 1° par une galerie circulaire *b* régnant à la partie inférieure, et communiquant avec lui par un grand nombre d'ouvertures pratiquées dans la paroi latérale; 2° par une capacité centrale *c* ménagée au-dessous du four, et communiquant également avec lui par des créneaux pratiqués dans la sole.

Ces fours sont intermittents; aussi en faut-il deux pour un haut fourneau. Ils se chargent par en haut à l'aide d'un trou *d* ménagé au centre de la voûte et se déchargent par côté à l'aide d'une porte dont ils sont munis à cet effet. Le chargement se fait facilement, parce qu'on fait arriver le minerai, par chemin de fer, dans des waggons. Le déchargement est plus coûteux et exige un certain temps d'arrêt, parce que, le défournement exigeant qu'on entre dans les fours, il faut qu'ils se refroidissent.

Digitized by Google

# TITRE III.

## DE LA PRÉPARATION DES COMBUSTIBLES.

Bien que la carbonisation du *bois* et de la *houille* ait pour but un même résultat qui est l'évaporation des matières volatiles, cette opération ne s'effectue généralement pas de la même manière pour ces deux combustibles, comme nous le verrons plus loin.

Les matières volatiles, que renferment les combustibles, quoique commençant à se dégager, dès qu'on soumet ces dernières à une température peu élevée, ne peuvent en être expulsées intégralement qu'autant que la calcination est poussée jusqu'à une température très-élevée. Or, quand cette calcination n'est pas complète, le combustible est *mou* et *friable*, ce qui peut être sans inconvénient quand on le brûle dans un foyer, mais ce qui est très-nuisible quand il doit résister à de fortes compressions, comme dans les hauts fourneaux par exemple. En outre, et nous en avons la preuve dans la fusion de l'acier au coke, la puissance calorifique du combustible incomplétement carbonisé est beaucoup moindre que celle du combustible qui a été intégralement dépouillé de ses matières volatiles. Cela se comprend, puisqu'une partie du calorique développé dans ce cas est absorbée par l'évaporation des matières volatiles restantes.

On a fait de nombreux essais pour appliquer à la réduction des minerais, dans les hauts fourneaux, des bois torréfiés, c'est-à-dire distillés en vases clos ou simplement desséchés, des houilles à demi carbonisées, et même des mélanges de coke et de houille crue. Le but que l'on se proposait étant la réalisation d'une économie, on en a, quelquefois, constaté de sérieuses, mais ces économies ne prouvent qu'une chose, c'est que la dépense de la carbonisation était trop grande, voilà tout.

Ainsi, en admettant qu'on arrive, par des procédés d'évaporation particuliers, à éviter la friabilité du combustible, on subira toujours une perte notable dans la puissance calorifique quand on emploiera, au chauffage, par contact, des combustibles *crus* dont la calcination n'aura pas été complète. La grande difficulté, pour opérer la calcination complète des combustibles crus sans dépenser beaucoup, c'est-à-dire en recueillant les matières volatiles, ce qui permet soit de les brûler, soit d'en extraire des produits chimiques, a été, jusqu'ici, dans le choix des appareils. Les métaux sont tout à fait impropres à cette opération, parce qu'ils ne comportent pas la température à laquelle il faut parvenir; il n'y a que les terres cuites qui résistent à cette température. C'est pour cela que, depuis quelques années, on remplace partout les cornues à gaz en fonte par des cornues en terre cuite; par ce moyen, non-seulement on extrait du combustible une plus grande quantité de gaz, mais encore on fait un coke dont la puissance calorifique est plus grande.

### § 1^er^. Carbonisation du bois.

Le plus ancien des procédés est connu sous le nom de carbonisation en meules. Plus les meules sont grandes, plus le charbon est dense. On dispose, sur un terrain compacte, et mieux sur un terrain qui a déjà servi à ce genre d'opération, une plate-forme sur laquelle on arrange des bûches placées en cercle (fig. 16, pl. 3); on implante au milieu une grosse bûche fendue en

Digitized by Google

quatre et dans laquelle sont placés deux morceaux de bois en croix pour soutenir le cône formé par le bois; on implante encore au milieu un pieu et on dispose autour de nouvelles bûches par-dessus ce rang, puis des branches recouvertes avec du gazon, des feuilles sèches, du chaume ou de la terre. A la base se trouve une petite ouverture qui laisse entrer l'air. Pour mettre le feu, on ôte le pieu du milieu et on met des charbons incandescents. Ces diverses opérations sont représentées par les fig. 12, 13, 14, 15 et 16.

L'art du charbonnier consiste à maintenir la température constante à l'intérieur, et pour cela on pratique des cheminées dans les endroits dits *paresseux*. Les coups de vent doivent être évités, parce qu'ils activent trop la combustion. Pour obvier à cet inconvénient, on empile les bois à charbonner autour de la meule (fig. 16). Quand la carbonisation est opérée, on enlève la terre calcinée qui recouvre la meule, et on jette de la terre humide. Lorsque le tas est froid, on étale tout le charbon au moyen de râbles en fer. Ce procédé donne 15 à 18 p. 100 de charbon. Il est généralement suivi dans les forêts, mais il a reçu quelques modifications. En opérant la carbonisation dans une fosse, on obtenait 22 p. 100. Des plaques en fonte recouvraient toute la sole. La température se maintenant à la partie inférieure, il se formait moins de fumerons. Ce procédé a été encore modifié de la manière suivante : on creusait en terre une fosse qu'on recouvrait d'une plaque de tôle; les bûches étaient disposées obliquement pour permettre l'écoulement de l'eau; autour du fossé, on ménageait une rigole communiquant à l'air extérieur par une cheminée pratiquée dans le sol; on recueillait ainsi l'acide pyroligneux et les produits de la combustion dans des vases réfrigérants. M. Thilorier a donné un procédé pour recueillir l'acide pyroligneux; il consiste à placer sous la meule des plaques de fonte pendant le temps de la carbonisation; la distillation se fait alors à la partie moyenne de la meule.

M. Brune a obtenu un maximum de charbon en formant un plancher avec des plaques de fonte placées au-dessus d'une fosse. La meule s'élevait au-dessus des plaques (voir la fig. 17). La température était maintenue alors plus régulièrement. Des conduits *a a'* servaient au dégagement des gaz.

M. Hourny a employé, à Pont-Gibaud, la méthode suivante : on rangeait, en tas circulaires de 1 mètre de haut sur 8 mètres de circonférence, des bûches ayant 65 centimètres de longueur; les tas se composaient de deux assises de rondins empilés debout et disposés en dôme. Au centre se trouvait une cheminée verticale remplie de menus charbons et destinée à propager le feu. On recouvrait toute la surface avec de la mousse et du fraisil tamisé. Le feu durait trente-six heures environ, et le défournement avait lieu deux heures après.

Dans les environs d'Essonne, on emploie le bois de bourdaine à la fabrication du charbon pour le service de la poudrière. Les branches ont 1 centimètre de diamètre et sont dégarnies de leur écorce. L'opération se fait dans des cylindres en fonte (fig. 18). Les produits qu'on obtient par la distillation sont de l'eau, de l'acide pyroligneux, du goudron.

*Fabrication du charbon roux en forêt.* (Procédé de M. Échement.)

On prépare une aire rectangulaire dans laquelle on creuse, dans le sens de la longueur, un petit canal de 0m.20 de côté, qu'on recouvre de plaques de fonte arrangées de manière à laisser une issue de chaque côté du canal. En avant se trouve un foyer alimenté au moyen d'un ventilateur. On dispose le bois dans le sens perpendiculaire au canal, en ayant soin de ménager au centre une petite voûte de 50 à 60 centimètres de rayon (fig. 19, 20, 21).

Par ce procédé, on prépare 30 stères en vingt-quatre heures, et la consommation du bois dans le foyer est de 3 stères ou 1/10 de la production. Ce foyer est alimenté par des branchages qu'on



Digitized by Google

ne peut pas torréfier. Le charbon obtenu de cette manière est de couleur brune jusqu'au centre, et renferme 38 p. 100 de matières volatiles, et son pouvoir calorifique est représenté par 0,58.

Dans le département des Ardennes, on a fait plusieurs expériences en modifiant ce procédé; les fig. 22, 23, 24, 25 indiquent les dispositions qui ont été employées. Un poste de charbonniers peut préparer, en vingt-quatre heures, 25 à 30 stères de bois.

Dans les terrains secs, les bois ont une assez grande densité et contiennent moins d'eau que les bois qui viennent dans un terrain humide.

Les bois se forment dans la végétation de toutes les plantes; les premiers produits sécrètent des matières azotées et de la matière ligneuse.

Si on considère les bois comme composés de fibres ligneuses, la sève contient plusieurs substances fermentescibles.

Les bois exposés à l'humidité se décomposent et occasionnent la pourriture; ainsi tous les procédés qu'on emploie pour conserver les matières animales peuvent servir aussi à la conservation des bois. Le sulfate de fer préserve assez bien les bois de la pourriture, mais le meilleur agent qu'on connaisse est le deutochlorure de mercure.

Le ligneux, à peu près pur, contient environ 52 p. 100 de carbone et 48 d'eau; mais, si on tient compte des matières étrangères, on a pour 100 parties:

| | |
|---|---|
| Charbon. . . . . | 50 |
| Eau. . . . . | 46 |
| Cendres. . . . . | 4 |

Le ligneux a une densité double de celle de l'eau.

Dans le commerce, les bois se distinguent en bois lourds et bois tendres.

Les bois s'achètent au volume, et, comme l'on sait, sous le même volume, ils ont un poids plus ou moins élevé. La mesure qu'on emploie est le stère et le décastère. Depuis quelque temps le bois se vend aussi au poids; ce serait assurément le meilleur moyen de vente, car le consommateur ne serait pas trompé; mais l'on sait que le bois flotté ou qui est arrivé par trains contient une grande quantité d'eau, qui ne se perd en partie qu'après une longue exposition dans les chantiers.

Dans le commerce, on vend un bois appelé *bois pelard;* ce sont des bûches de chêne dont on a retiré l'écorce qu'on emploie dans la fabrication du tan.

Les bois blancs ou flambants sont préférés, dans certaines industries, aux bois durs; aussi, dans les fours à porcelaine, à verrerie, on brûle particulièrement du bouleau. Les boulangers se servent aussi de ce bois, et la braise qui en résulte se vend à un tiers du prix du combustible. Les déchets des bois tendres sont aussi employés pour la cuisson du plâtre et de la chaux. Quant aux bois durs, on les brûle, pour le chauffage des chaudières à vapeur, dans les calorifères et principalement dans les cheminées d'habitation où le rayonnement doit être très-grand.

On admet généralement que le mètre cube de charbon de bois dur, tel qu'il se trouve dans le commerce, pèse 200 à 240 kilog.

| Charbon de différentes localités. | Poids du mèt. c. en kilog. |
|---|---|
| Baigory (dans les Pyrénées). . . . . | 185 |
| Framont (Vosges). — Le charbon de hêtre et de chêne. . . . . | 213 |
| Allevard (Isère). — Un mélange d'un tiers de bois dur et de deux tiers de sapin. | 150 |
| Sibérie. — Charbon de pin silvestre. . . . . | 157 |
| Dans la Fichtelgebirge (Bavière). — Charbon de pin. . . . . | 141 |
| A Epicre (Savoie). — Mélange de bois dur et de bois résineux. . . . . | 180 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Charbon de Picardie. | 180 |
| — de l'Yonne. — Humide. | 250 |
| — de Choisy fait dans des cylindres. | 160 à 175 |
| — de Pont-Gibaud, de chêne et de hêtre. | 200 à 210 |
| — de noisetier. | 190 |
| — de bouleau. | 185 |
| — de sapin. | 175 |
| — d'aune. | 160 |

Niederbronn. — Le charbon pesé tout chaud, comme les précédents, donne :

| | |
|---|---|
| Pour le hêtre. | 230 |
| Pour le chêne. | 200 |
| Pour le pin en branches. | 160 |

*Densité de plusieurs espèces de charbons dans l'état où ils se trouvent dans les magasins des marchands, d'après* M. Marcus Bull.

| | |
|---|---|
| Noyer à écorce écailleuse. | 625 |
| Chêne blanc, châtaignier. | 481 |
| Frêne d'Amérique. | 547 |
| Hêtre des bois. | 518 |
| Charme. | 455 |
| Pommier sauvage. | 445 |
| Sassafras. | 427 |
| Cerisier de Virginie. | 411 |
| Orme d'Amérique. | 357 |
| Cèdre de Virginie. | 238 |
| Pin jaune. | 333 |
| Bouleau à feuilles de peuplier. | 364 |
| Châtaignier d'Amérique. | 379 |
| Peuplier d'Italie. | 245 |

Le pouvoir calorifique du charbon varie entre les nombres 7000 et 7800, qui indiquent de combien de degrés il peut élever la température de son poids d'eau. Donc le carbone pur pourrait amener à l'ébullition 78,10 fois son poids d'eau liquide à zéro, et vaporiser 11,18 fois son poids de ce liquide. Théoriquement, il produirait 34 parties de plomb avec la litharge, mais le charbon ordinaire n'en donnant que 29 à 30, on prend pour pouvoir calorifique le nombre 7300.

La pratique nous apprend 1° qu'à volumes égaux les charbons de bois durs donnent plus de chaleur que les charbons de bois tendres, mais qu'à poids égaux les effets calorifiques sont peu différents; 2° que les charbons sortis récemment des meules brûlent avec une plus grande facilité, mais chauffent moins que ceux qui ont séjourné pendant quelque temps sous les halles; 3° que le charbon obtenu par distillation est léger, brûle vite, mais que la température qu'il produit n'est pas si élevée qu'avec le charbon fabriqué en meules.

A poids égaux, le charbon a un pouvoir calorifique plus que double de celui du bois; il est moins grand à volumes égaux, mais la température développée par le charbon est toujours plus élevée.

Digitized by Google

*Composition et pouvoirs calorifiques de quelques charbons.*

| | Charbon de Pont-Giband. Sapin. | Pont-Giband. Aune. | Pont-Giband. Bouleau. | Pont-Gib. Chêne. | Choisy. Charb. obtenu par distillation. | Charb. de bois de bourdaine obt. en vase clos. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Charbon. . . . . | 0.903 | 0.902 | 0.881 | 0.880 | 0.766 | 0.577 |
| Cendres calcinées.. | 0.029 | 0.018 | 0.019 | 0.020 | 0.064 | 0.008 |
| Matières volatiles.. | 0.075 | 0.080 | 0.100 | 0.100 | 0.170 | 0.415 |
| | 1 000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Plomb produit. . . | 32.3 | 32.4 | 31.4 | 31.3 | 29.8 | 25.0 |

*Charbons de Picardie transportés par terre et pris sur le marché de Paris et de Choisy.*

| | Charbon d'épine. | Peuplier. | Érable. | Frêne. | Tremble. | Fusain. | Charbon de Choisy obtenu par distillation dans les cylindres. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Charbon. . . . . | 0.880 | 0.856 | 0.852 | 0.832 | 0.820 | 0.828 | 0.720 |
| Cendres calcinées.. | 0.024 | 0.010 | 0.010 | 0.018 | 0.030 | 0.016 | 0.066 |
| Matières volatiles.. | 0.096 | 0.134 | 0.138 | 0.150 | 0.150 | 0.156 | 0.214 |
| | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Plomb produit. . . | 32.0 | 30.6 | 30.6 | 29.6 | 29.5 | 30.3 | 27.4 |

§ 2. Carbonisation de la houille.

Pendant longtemps, la houille, sortant du puits, était séparée des pierres qu'elle contient avec plus ou moins de soin et carbonisée telle quelle, c'est-à-dire contenant une proportion assez notable de terre et de pierres qui, introduites à l'état de coke dans les appareils de chauffage, non-seulement diminuaient la puissance calorifique du kilogramme de combustible, mais encore absorbaient, pour leur échauffement sur les grilles ou leur fusion dans les hauts fourneaux, une portion de calorique provenant de la combustion du carbone.

Depuis quelques années, on a imaginé de séparer les houilles menues de leur gangue en les lavant. Ces houilles ayant, par suite de leur état de division, une densité, au plus, égale à celle de l'eau, tandis que les pierres schistes et terres dont elles sont imprégnées en ont une généralement supérieure, on comprend que, si on les projette, sortant du puits, dans un bassin d'eau, elles se comporteront tout différemment que les minerais lavés, c'est-à-dire s'en iront avec cette dernière, et laisseront au fond toute leur gangue.

Tel est le principe sur lequel repose le lavage de la houille qui, comme le constate le rapport de la commission nommée par l'assemblée générale de la Société minérale de Saint-Etienne, pour étudier cette opération, a donné lieu, jusqu'à ce jour, à au moins 12 espèces de lavoirs différents. Nous ne décrirons pas toutes ces espèces de lavoirs; nous esquisserons seulement les divers systèmes sur lesquels ils reposent et indiquerons les principaux.

*Du lavage de la houille.*

Les divers appareils de lavage de la houille se divisent (1) en trois catégories distinctes, savoir :

(1) Voir *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, tome III, page 477.

Digitized by Google

1re *catégorie*. — Les appareils dans lesquels l'eau agit par soulèvement *intermittent* du combustible et *sans* entraînement.

2e *catégorie*. — Les appareils dans lesquels l'eau agit par soulèvement *continu et* entraînement du combustible.

3e *catégorie*. — Les appareils dans lesquels l'eau agit par soulèvement *intermittent et* entraînement du combustible.

Le type des lavoirs de la première catégorie est le bac à piston (fig. 26, 27 et 28, pl. 3). Il se compose d'une caisse rectangulaire B, en plateaux de pin bouvetés et serrés par des tirants en fer. Une cloison verticale A divise la bâche en deux compartiments inégaux qui communiquent par le bas. Dans le plus petit de ces compartiments fonctionne un piston P, formé d'une caisse en bois à section rectangulaire, dont la tige H est assemblée à articulation à long levier en bois D qui se meut autour de l'axe E et qui porte à son extrémité un contre-poids L.

Le jeu de plusieurs centimètres de largeur qui règne autour du piston a principalement pour but d'éviter l'aspiration, qui exerce une influence extrêmement nuisible.

Pour mettre le piston en mouvement, l'aide-laveur agit sur des chevilles transversales que présente la barre en bois F.

Des liteaux *a a*, fixés à l'intérieur du grand compartiment de la bâche, soutiennent un grillage horizontal en bois C, de 0m,08 à 0m,10 de hauteur, présentant des ouvertures carrées de 0m,10 de côté. Ce châssis est recouvert de toiles métalliques *b*, dont la maille est d'autant plus serrée que le charbon est moins argileux et a moins de tendance à faire pâte. Une seule toile d'un tissu très-fin serait bientôt mise hors de service; aussi a-t-on soin de la placer entre deux toiles à treillis plus large qui servent à la soutenir et à la protéger contre le choc de la pelle. Lorsque les eaux sont acides, ce qui arrive presque toujours dans les houillères, on est obligé d'employer des toiles en fils de laiton. Les mailles de toile supérieure et inférieure ont de 2 à 3 millimètres de côté; celles de la toile du milieu n'ont quelquefois que $^1/_2$ millimètre.

Un cadre en fer M, garni de barreaux parallèles, sépare le charbon épuré des schistes. Si, d'un côté, il y a avantage à le placer assez haut pour n'être pas obligé d'extraire trop fréquemment les pierres, d'un autre côté, en donnant une épaisseur trop grande à la couche de schistes, on entrave la circulation de l'eau, ce qui nuit beaucoup au lavage. L'épaisseur des schistes doit être comprise entre 8 et 12 centimètres, suivant que les charbons traités sont très-argileux ou moyennement argileux.

La grille, ou toile métallique, a 1m,50 sur 1m,32, et présente une surface de 2,28 mètres carrés.

La section horizontale du piston est de 1m,50 sur 0m,50, soit 0,75 mètre carré. Le rapport des surfaces est donc de $^1/_3$. Dans les autres lavoirs de Saint-Étienne, ce rapport est assez fréquemment de $^1/_4$, et très-rarement de $^1/_5$.

A chaque opération, l'ouvrier jette sur la grille 1 hectolitre $^1/_4$ à 1 hectolitre $^1/_2$ de houille menue. Le niveau de l'eau dans le bac affleurant à peu près la surface supérieure du charbon, l'aide-laveur fait fonctionner le piston pendant une minute et demie environ; il donne, pendant ce temps, une volée de 60 à 65 coups.

L'expérience a démontré qu'il était nécessaire que le laveur agitât constamment le charbon avec un râteau en fer pour faire pénétrer l'eau rapidement dans toute la masse et pour rompre la pâte plus ou moins collante qui s'oppose à la descente des schistes. Ce n'est qu'à la fin de l'opération que l'ouvrier cesse d'agir avec son râteau, afin que les matières puissent bien se niveler et se classer par ordre de densités.

Des expériences ont été faites à Méons, afin de déterminer le nombre de coups de piston qu'il

Digitized by Google

était nécessaire de donner pour obtenir un bon lavage. Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau suivant :

| QUANTITÉS DE CENDRES | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | DANS LA HOUILLE LAVÉE | | | | |
| Dans la houille n. lavée. | Après 20 coups de piston. | Après 40 coups. | Après 60 coups. | Après 65 coups. | Après 75 coups. |
| 15 p. 100 | 6,2 p. 100 | 4,7 p. 100 | 3,8 p. 100 | 3,5 p. 100 | 3,5 p. 100 |

On voit qu'après 65 coups l'épuration cesse de faire des progrès.

Dès que la séparation des schistes a été opérée, l'aide-laveur soulève le piston de manière à faciliter le retour de l'eau dans le petit compartiment et à mettre le charbon épuré à sec. Le laveur enlève alors la couche supérieure de houille en faisant glisser la pelle sur la grille M.

Après un certain nombre d'opérations semblables, tout l'espace compris entre cette grille et les toiles métalliques est occupé par des schistes. L'ouvrier interrompt alors le lavage, soulève le cadre M, et vide à la pelle les déchets pierreux. La partie supérieure de cette couche schisteuse renfermant une assez forte proportion de charbon est mise de côté, afin d'être ajoutée à la houille sèche lors de l'opération suivante.

Les schlamms ou *mourines* qui traversent les toiles métalliques se rassemblent au fond du bac et sont extraits ordinairement à la fin de chaque journée. Avant d'exécuter ce travail, on démonte la grille M et le châssis C, et on arrache le tampon qui bouche l'ouverture *o*. Il ne reste au fond de la bâche que les schlamms qu'on enlève à la pelle lorsqu'ils sont épais et que l'on fait couler par l'orifice *o'* lorsqu'ils sont liquides ; ils se rendent, dans ce dernier cas, dans des bassins de dépôt.

En général, quand on emploie un certain nombre de bacs à piston, on met en communication chacun de ces appareils avec un réservoir d'eau placé à un niveau supérieur. On voit, dans la fig. 26, le tuyau R, terminé par un robinet, qui alimente le bac B.

Dans ce lavoir, les matières sont alternativement soulevées par le courant d'eau que foule le piston, et abandonnées à l'action de la gravité. Le classement par ordre de densité s'opère pendant le retour de l'eau dans la bâche.

Nous avons montré combien il importe que ce mouvement rétrograde s'effectue avec une vitesse aussi faible que possible.

Or, ici, l'ascension du piston n'ayant lieu que par la pression de l'eau et par l'action d'un faible contre-poids, on voit que cet appareil remplit très-bien cette importante condition. L'ouvrier n'agit que pour abaisser le piston, c'est-à-dire lorsqu'il n'y a aucun inconvénient à imprimer à l'eau une plus grande vitesse.

L'expérience a démontré qu'il était avantageux de soulever les matières à épurer de 2 centimètres au plus. Dès qu'on dépasse cette hauteur, les schistes fins tendent à s'élever à la partie supérieure du charbon lavé, et les gros morceaux de charbon à rester dans la couche pierreuse qui recouvre les toiles métalliques.

Voici quel est le devis de l'appareil :

| | | |
|---|---|---|
| Bâche en plateaux de 5 à 6 centimètres d'épaisseur, piston, levier, planchers latéraux, etc. . . . . | 300 fr. | » |
| Toiles métalliques, châssis en bois et grille garantie en fer. . . . . | 124 | » |
| *A reporter.* . | 424 fr. | » |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| *Report.* . . . | 424 fr. » |
| Tuyaux d'alimentation, bassin et conduits (chiffre calculé d'après les dépenses pour l'établissement de huit lavoirs du puits de l'Éparre). . . . . | 96 » |
| Prix total de l'appareil. . . . . | 520 fr. » |

Chaque bac à piston du puits Saint-Claude peut épurer, par jour, de 7 à 8,000 kilogrammes de houille brute, soit 7,500 kilogrammes. Ce chiffre représente le travail moyen obtenu à Méons.

Lors des expériences exécutées par la commission, 1,740 kilogrammes ont été lavés en 97 minutes, et 1,870 kilogrammes en 110 minutes. D'après ces résultats, on pourrait donc traiter 10,000 kilogrammes environ en 10 heures de travail effectif. Mais, si l'on tient compte du temps passé à relaver le charbon impur qui recouvre la couche des schistes à vider les schlamms qui s'accumulent dans le bac, on verra que le poids de houille brute épurée en un jour ne doit guère dépasser 7,500 kilogrammes.

A Méons, un bac à piston est desservi par deux hommes qui reçoivent chacun 2 fr. 50 c. par jour. Le prix de revient du lavage de 100 kilogrammes de houille brute devra donc s'établir ainsi qu'il suit :

| | |
|---|---|
| Main-d'œuvre. . . . . | » fr. 067 |
| Entretien des toiles, outils, etc. . . . . | » fr. 007 |
| Intérêts et amortissements calculés pour une durée de dix ans. . . . . | » fr. 003 |
| Total. . . . . | » fr. 077 |

Ainsi le prix de revient serait de 7ᶜ, 7 (1).

La quantité d'eau dépensée est de 25 pour 0/0 environ du poids du charbon lavé. Chaque lavoir absorberait donc 20 à 22 hectolitres d'eau par jour, non compris le volume d'eau nécessaire pour remplir le bac.

Le type des lavoirs de la seconde catégorie est le lavoir à eau courante (fig. 29, 30, pl. 4). Il se compose d'une caisse A, ayant une pente de 10 à 12 centimètres par mètre.

Deux petits planchers B, C, de forme trapézoïdale, sont disposés en cascade à la tête de l'appareil. Le plancher supérieur B est incliné en sens inverse de la direction du courant d'eau ; le second plancher est placé presque horizontalement. Ces dispositions ont pour but de s'opposer à l'entraînement des schistes.

Au-dessous de ce double palier B, C s'étend la caisse de dépôt D, où s'accumule le charbon lavé. Une claie en osier, établie à la base de l'appareil, retient une partie des poussières fines de charbon et laisse passer les schlamms, qui vont se déposer dans des bassins.

Le courant d'eau qui arrive au sommet du lavoir est réglé au moyen d'un robinet E; il est forcé de s'échapper par le vide rectangulaire de 2 à 3 centimètres de hauteur, laissé entre le plancher B et le plan incliné H sur lequel on jette le charbon. Au fur et à mesure que la houille tombe dans le compartiment supérieur, le laveur l'égalise, l'agite et la désagrége au moyen d'un râteau. Les schistes les plus denses restent dans ce premier compartiment, tandis que les schistes

(1) En général, l'aide-laveur n'est qu'un enfant, et la main-d'œuvre totale par jour n'est que de 3 fr. 75 cent. à 4 fr. au plus.

En prenant la moyenne de deux mois de travail aux houillères de Janon, un bac à piston ainsi desservi lave 10,900 kil. par jour. La main-d'œuvre seule, pour 100 kilog. de houille brute soumise au lavage, n'est que de 35 mill., et le prix de revient total est inférieur à 45 mill. (La proportion totale des déchets n'est que de 12 p. 100.) Par contre, à la mine de Tartaras, où les charbons sont moins purs que ceux de Méons, le prix du lavage par quintal métrique de houille brute atteignait 10 centimes.

Digitized by Google

légers sont entraînés avec le charbon et tombent sur le deuxième plancher C, où la vitesse de l'eau est plus faible. Là se dépose un mélange de charbon et de matières impures que l'on ramène à la pelle dans le compartiment supérieur, afin de le soumettre à un nouveau lavage. Le charbon propre passe dans le troisième compartiment et s'y dépose à son tour, grâce à une nouvelle diminution de vitesse du courant. Cependant, pour obtenir une épuration convenable, il est nécessaire de laver une seconde fois la houille qui s'est arrêtée à la partie supérieure du compartiment de dépôt D.

Dans ce système de lavoir, l'eau n'agit que par entraînement. On comprend, dès lors, que si le laveur ne règle pas avec un soin extrême la vitesse du courant, ou s'il remue les matières sans prendre les précautions convenables, les schistes sont entraînés, et l'épuration est nécessairement très-imparfaite. La nature des produits dépend donc complétement du plus ou moins de soins, d'attention et de régularité qu'apporte l'ouvrier dans toutes les parties de son travail ; aussi les résultats obtenus sont-ils toujours extrêmement variables. Ce motif seul suffit pour expliquer pourquoi, dans les mines du bassin de Saint-Étienne, on a dû renoncer à se servir de cet appareil d'épuration. Nous ferons observer que, si la commission, lors de ses expériences, a trouvé des résultats passables, c'est que les ouvriers, étant constamment surveillés, ont opéré avec des soins tout particuliers.

Voici le devis de l'appareil :

| | | |
|---|---|---|
| Caisse dormante en chêne avec tirants en fer, robinet, caisse pour amener l'eau, etc. | 350 fr. | » c. |
| Bassin de dépôt, etc. | 250 | » |
| Total. | 600 fr. | » c. |

Les frais d'établissement pour chaque lavoir s'élèvent donc à 600 fr.

A Méons, un lavoir à eau courante traite par jour 12 à 13,000 kil. de charbon brut.

La commission a constaté que 1,770 kil. de houille ont été lavés en 85 minutes. D'après ce résultat, on voit que le poids de houille soumise au lavage, en dix heures de travail effectif, serait de 12,494 kil. Nous considérerons comme exact le chiffre de 12,500 kil.

Deux ouvriers font le service de chaque lavoir.

| | | |
|---|---|---|
| L'aide-laveur qui jette à la pelle le charbon sec reçoit. | 1 fr. | 75 c. |
| Le laveur gagne. | 2 | 50 |
| Total de la main-d'œuvre. | 4 fr. | 25 c. |

Ainsi, en admettant que la durée d'un appareil est de dix ans, le prix de revient du lavage de 100 kil. de houille brute serait établi comme suit :

| | |
|---|---|
| Main-d'œuvre. | » fr. 0340 |
| Intérêts et amortissement. | » 0024 |
| Entretien des pelles, claies, etc. | » 0005 |
| Prix de revient total. | » fr. 0369 |

Le volume d'eau qui est dépensé est très-considérable ; il est de 30 mètres cubes environ par jour, soit trois fois le poids du charbon lavé.

Comme type des lavoirs de la troisième catégorie, on peut citer l'ingénieux appareil de M. Bérard (fig. 31, 32), dans lequel le charbon, arrivant de la mine par une estacade, est versé dans la trémie A, qui l'amène à une grille à secousse B, au travers de laquelle passent le menu et les petits fragments. Le gros charbon se rend sur la table de triage C à claire-voie, d'où on l'enlève

Digitized by Google

pour le livrer tel quel au commerce, ou sur laquelle on le broie à coups de marteau, pour le faire descendre entre les cylindres broyeurs qui sont au-dessous.

Tout le charbon à laver se réunit donc dans la caisse E, d'où une chaîne à godets, dite élévateur, le porte au lavoir F, qui opère, comme le bac à piston, au moyen du piston G, et le pousse dans le réservoir H, où un second élévateur le prend et le porte dans la trémie I, d'où il tombe dans un waggon.

Cet appareil, comme on le voit, est infiniment plus compliqué que les autres, mais il produit considérablement.

La dépense varie en raison du travail effectué dans un temps donné. Or cet élément change lui-même avec la nature du charbon et suivant que l'on exécute un double ou simple broyage. Prenons une situation moyenne, c'est-à-dire une qualité pouvant être traitée à raison de 150 tonnes par journée de travail, avec un appareil à trois bacs (au lieu d'un que représente la figure) et broyeurs simples.

Le service de l'appareil exige un machiniste pour soigner l'ensemble du système, moteur et appareil, et un aide faisant fonction de chauffeur. Quelquefois, dans certains cas particuliers, on ajoute un enfant pour la surveillance des broyeurs et de la fosse à charbon ; mais la plupart du temps il peut être supprimé sans inconvénient.

La dépense journalière se compose donc de :

| | | |
|---|---|---|
| Un mécanicien ou machiniste à 4 ou 5 francs par jour, suivant les localités ; admettons 5 fr., ci. . . . . | 5 fr. | » |
| Un aide, ou chauffeur, à 2 ou 3 fr. par jour, ci. . . . . | 3 | » |
| Avec une machine à moyenne pression, sans détente variable et sans condenseur, la dépense en combustible peut être estimée à 4 kil. par heure et par force de cheval, soit pour 8 1/2 chevaux et pour 10 heures, 340 kil. ; mais, comme le travail est suspendu la nuit, admettons une consommation de 400 à 450 kil. de charbon valant sur le puits de 0 fr. 60 à 1 fr. 30, suivant les bassins houillers. Prenons le maximum, ci. | 5 | 85 |
| Graissage et entretien estimés de 3 à 4 fr., ci. . . . . | 4 | » |
| Total de la dépense journalière. . . . . | 17 fr. | 85 |
| soit, pour une tonne, à raison de 150 tonnes travaillées par jour, ci. . . . . | » fr. | 119 |

Cette dépense est réduite de moitié environ lorsqu'on a la vapeur gratuitement, ce qui se présente fréquemment près des puits ou des établissements de fours à coke dont on peut utiliser la chaleur perdue ; car alors, outre le charbon, on supprime encore l'aide-machiniste.

Les frais de premier établissement, comprenant l'appareil avec tous ses accessoires, machine à vapeur munie de son générateur, bâtiment, clôture, installation, etc., s'élèvent à environ 35,000 francs. L'intérêt et l'amortissement de ce capital estimé à 10 p. 100, soit 3,500 fr. par an, grèveraient la tonne de charbon de 0 fr. 077. Mais comme l'appareil, étant bien entretenu, pourra très-convenablement fonctionner encore au bout de vingt ans et conservera une valeur fort appréciable, supérieure à celle des matériaux, ce chiffre pourrait être réduit à 0 fr. 06 ou même à 0 fr. 05 ; admettons. . . . . » 060

Enfin nous avons à comprendre la prime ou redevance due à l'invention, que nous pouvons établir capitalisée à. . . . . » 100

Total ou prix de revient maximum par tonne de charbon livrée à l'appareil. . . » fr. 279



Digitized by Google

### *De la carbonisation.*

La houille se carbonise en *tas*, en *meules*, dans des *fours* et, comme nous l'avons dit plus haut, dans des *cornues*.

Les carbonisations, en *tas* et en *meules*, n'ont leur raison d'être que dans des circonstances exceptionnelles, attendu qu'elles présentent tous les inconvénients de la carbonisation du bois dans les forêts et ne sont pas justifiées, comme cette dernière, par le déplacement fréquent de l'exploitation.

Pour retirer la houille du sol, il faut presque toujours creuser des puits qui atteignent jusqu'à 600 mètres, exigent plusieurs années de travail et coûtent des sommes fabuleuses. Ces puits, une fois percés, sont les points invariables d'extraction du combustible minéral, quelle que soit la distance horizontale à laquelle on va le chercher dans le sol, et on peut, sans inconvénient, construire autour d'eux les appareils de carbonisation les plus perfectionnés, c'est-à-dire des fours. Néanmoins, comme il arrive quelquefois qu'il est nécessaire, soit par insuffisance des fours, soit pour toute autre cause, de faire la carbonisation en plein air, nous allons dire quelques mots sur la manière dont elle se pratique dans ce cas.

*Carbonisation en plein air.* — On dispose des meules en forme de prismes triangulaires très-allongés, dans l'intérieur desquels on ménage des petites cheminées au moyen de moules en bois. Le feu se place à la partie inférieure et se propage dans toute la masse de bas en haut. La durée de l'opération dépend de la nature de la houille et de l'état de l'atmosphère. A Saint-Étienne, cette opération dure de sept à quinze jours, qu'on peut ainsi décomposer : trois à quatre jours pour la combustion, trois jours et même huit à dix jours pour étouffer complétement. On donne à ces tas une largeur d'environ $2^m,50$ à $3^m,80$. Les cheminées maîtresses, espacées entre elles de 1 mètre, ont 20 centimètres de diamètre, et les ouvreaux, de 30 à 40 centimètres d'intervalle, ont 10 à 15 centimètres de diamètre.

Le rendement des houilles varie entre 40 et 50 pour 100 de coke.

La main-d'œuvre, à Saint-Étienne, se paye à l'entreprise à raison de 15 centimes les 100 kilogrammes de coke, en fournissant les outils nécessaires pour ce genre de fabrication.

Généralement, on a renoncé à ce mode de fabrication à cause du déchet qui est d'au moins moitié, et il arrivait même que des coups de vent faisaient perdre des tas entiers. En outre, le coke est cuit beaucoup moins également, il est plus lourd, plus friable et brûle moins facilement que le coke des fours. La conduite de l'opération demande aussi beaucoup trop de soin. La main-d'œuvre y est, par conséquent, trop chère.

Aux mines de la Grandcombe, on emploie une méthode mixte. Elle consiste à carboniser la houille sur des aires rectangulaires entourées de murs percés d'ouvreaux. La houille à carboniser est collante et menue; on l'humecte, et le tassement s'opère par couches successives entre trois murs comprenant un espace rectangulaire de 2 mètres environ de largeur sur 3 mètres de longueur et $1^m,20$ de hauteur. Les murs ont $0^m,70$ d'épaisseur. Ils sont faits avec les grès houillers de la localité. Quand l'opération est terminée, on démonte la muraille antérieure, on arrache le coke avec des râbles et on l'arrose pour l'éteindre. Ces fours sont représentés dans les figures 33, 34 (pl. 5).

*Carbonisation dans les fours.* — Dans le bassin de la *Loire*, on a employé pendant longtemps deux espèces de fours, savoir :

Les *fours anglais*, à deux portes, servant au chargement et au déchargement;

Les *fours français*, à une seule porte, servant tantôt au chargement et au déchargement,

Digitized by Google

tantôt au déchargement seulement, le chargement se faisant par l'ouverture centrale de la voûte (fig. 35, 36, 37).

Aujourd'hui, sauf de rares exceptions, tous les fours existants sont des fours dits français, ayant les dimensions suivantes, savoir :

| | |
|---|---|
| Diamètre à la base. . . . . | 3m,00 |
| Hauteur sous clef. . . . . | 1m,50 à 1m,60 |
| Portes, largeur. . . . . | 0m,70 à 0m,80 |
| — hauteur. . . . . | 0m,75 à 0m,90 |

Ces fours sont disposés en groupes formant quelquefois une rangée simple, mais le plus souvent une rangée double de fours adossés et emboîtés de manière à conserver la chaleur.

Ils sont construits ordinairement, en maçonnerie ordinaire de moellons, jusqu'au niveau de la sole, laquelle est formée d'une rangée de briques posées sur champ et à sec sur la maçonnerie inférieure, par l'intermédiaire d'une couche de quartz pilé ayant 4 à 5 centimètres d'épaisseur. La voûte est construite en briques réfractaires.

La façon d'un four français, à Saint-Étienne, se paye de 60 à 70 francs; son prix total est d'environ 500 francs.

La fermeture des portes se fait au moyen d'un galandage en briques rouges rejointoyées avec un peu d'argile délayée dans de l'eau. Quelques rares ateliers ont des portes en fonte.

L'air nécessaire à la combustion des gaz et d'une partie du carbone destiné à produire le calorique qu'exige leur évaporation est introduit par la porte ou, comme les figures 36 et 37 l'indiquent, par les orifices *b*, *c*, *d* communiquant avec l'extérieur au moyen du canal *a e*.

Les charges sont, en moyenne, de 4,000 kilogr., et la durée de l'opération est de quatre à cinq jours.

Le rendement de ces fours varie de 55 à 64 coke pour 100 de houille, suivant la qualité de cette dernière; en moyenne, 60 pour 100.

Une amélioration importante au point de vue du rendement a été apportée à ces fours par M. *Maurice*, directeur des mines de *Tartaras* (1). Cette amélioration consiste (fig. 38 et 39) à faire arriver l'air dans les fours par une galerie circulaire G G, placée sur le pourtour extérieur de la voûte en briques réfractaires et débouchant dans le four par une série d'orifices *b*, *e*, *f*, *g*, *h* ayant 3 centimètres de large sur 6 de haut et situés au-dessus du combustible, de manière à brûler tous les gaz sans jamais atteindre le combustible fixe et opérer ainsi le chauffage du four par la simple combustion des gaz.

Par ce moyen, M. *Maurice* est parvenu à augmenter le rendement des fours de 6 pour 0/0, c'est-à-dire de le porter, en moyenne, à 66 pour 0/0.

*Fours à coke de Commentry.* — Le tome II du *Bulletin de la Société minérale de Saint-Étienne* contient un mémoire en deux parties et extrêmement intéressant, de M. E. *Lavigne*, concernant les essais faits, par cet ingénieur, sur des fours à coke analogues à ce qu'on nomme aujourd'hui les fours belges, c'est-à-dire les fours à parois chauffées par la combustion des gaz qui s'en dégagent. Ces fours, qui conviennent particulièrement aux houilles *peu grasses*, mais à *longue flamme*, affectent plusieurs dispositions dont l'une est représentée dans les figures 40, 41, 42 et 43 (pl. 5 et 6); c'est celle des grands fours. En voici la légende :

Fig. 40. Coupe horizontale au niveau de la sole.

(1) Voir le mémoire de cet habile ingénieur dans le *Bulletin de la Société minérale*, tome I, page 434.

Digitized by Google

Fig. 41. Coupe verticale par le grand axe du four.

Fig. 42. Coupe verticale dans un plan perpendiculaire à celui de la fig. 41.

Fig. 43. Coupe horizontale passant sous la sole.

La sole a $3^m,45$ de la porte au fond; elle est rectangulaire sur une largeur et une longueur de 2 mètres à partir du fond; mais elle se raccorde à l'ouverture de la porte par 2 talons.

La hauteur sous clef de voûte est de $1^m,60$.

La capacité totale du four est d'environ $8^{m3},300$.

30 hectolitres de charbon, chargés jusqu'à $0^m,60$ de la porte, occupent une hauteur de $0^m,60$ environ.

Celle du coke varie entre $0^m,75$ et $0^m,80$.

Le foisonnement varie donc du 1/4 au 1/3 de la quantité de charbon enfournée.

Les fours communiquent deux à deux par des carneaux $a$, $a$, $a$.

Sous chaque sole sont établis deux grands carneaux voûtés n'ayant entre eux qu'un pilier d'une épaisseur égale à la longueur d'une brique.

Ces carneaux communiquent deux à deux par une seule ouverture pratiquée dans les piliers, alternativement à la tête et à l'arrière du four. Sous 2 fours accouplés, il y a 4 carneaux $k$, $k$, $k'$, $k'$ communiquant ainsi par les ouvertures $c'$, $c''$, $c'''$.

Les deux extrêmes $k'$, $k'$ communiquent soit avec la galerie de tirage par des rampants $d$, $d'$, que l'on règle au moyen des registres R''R''', soit avec des conduits $b$, $b'$, qui sont en relation directe avec 2 gaines latérales $b''$, $b'''$, communiquant aux fours par les carneaux $a'$, $a'$, $a'$, $a''$, $a''$, $a''$.

La communication des conduits $b$, $b'$ avec les gaines $b''$, $b'''$ se règle au moyen des registres R, R'.

Cela dit, supposons que le four B soit en pleine marche depuis 24 heures par exemple, et qu'on veuille défourner le four A.

Il faut alors faire passer les gaz chauds qui sortent du four B sous la sole du four A. Pour cela, il suffit de fermer les registres R et R'' et d'ouvrir les registres R' et R'''.

Les gaz s'échappent, par les carneaux $a''$, $a''$, $a''$, dans la gaine $b'''$, passent dans le conduit $b$, parcourent successivement les carneaux sous la sole du four $b'$, puis du four A s'échappent à l'extrémité du dernier carneau, dans la galerie d'appel, par le rampant $d$.

Cette disposition permet de chauffer constamment la sole et de la maintenir à une température assez élevée pour que, sitôt l'enfournement achevé, la carbonisation commence par la partie inférieure.

L'enfournement doit succéder immédiatement au défournement; puis, une fois la porte fermée, on fait passer les flammes en sens inverse que précédemment. Il suffit, pour cela, d'ouvrir les registres R, R'' et de fermer les registres R' R'''.

Les gaz du four B, qui est en ce moment en pleine marche, traversent la paroi commune aux deux fours par les carneaux $a$, $a$, $a$, échauffent la surface du combustible, traversent les carneaux $a'$, $a'$, $a'$, parcourent successivement la gaine $b''$, le conduit $b$, les carneaux $k'$, $k$, $k$, $k'$, et s'échappent dans le grand conduit par le rampant $d'$.

De cette manière, le four A, qui vient d'être enfourné, est immédiatement réchauffé, d'un côté par le contact du four voisin, dont il n'est séparé que par une mince paroi, et sur les trois autres faces, c'est-à-dire la voûte, la seconde paroi et la sole, par les gaz du four B, avec lequel il est accouplé.

Le derrière du four est protégé par le massif général de l'atelier, et par les rampants et la conduite générale des gaz.

Digitized by Google

Le tirage se fait au moyen d'une grande cheminée d'appel qui est d'une dimension plus que suffisante au besoin de l'atelier.

Ces fours peuvent carboniser moyennement 30 hectolitres en quarante-huit heures, ou 20 hectolitres en vingt-quatre à vingt-six heures. Le rendement étant à peu près équivalent dans les deux cas, il y a avantage à carboniser en vingt-quatre heures, puisque le travail utile est proportionnellement plus considérable.

Les expériences de M. *Lavigne* ont porté sur six genres de fours différents, dont l'un est l'ancien four de *Commentry*, et sur cinq espèces de charbons. Le résultat de ces expériences a été que :

1° L'accouplement des fours, pour utiliser les gaz de l'un au chauffage de l'autre, est tantôt favorable au rendement, tantôt sans influence, suivant la nature des houilles carbonisées;

2° Le rendement est à peu près le même dans les différentes dispositions des nouveaux fours et supérieur à 5 à 6 pour 0,0 à celui des anciens fours.

*Fours de MM. Appolt.*—Le système *Appolt* a, comme les fours de *Commentry*, pour but le chauffage du combustible cru par la flamme des gaz qui se dégagent pendant la carbonisation ; mais il ne s'en tient pas là ; il a aussi pour but d'opérer le plus économiquement possible le chargement et le déchargement. Un groupe de six fours de ce système ayant été construit aux environs de *Rive-de-Gier*, le conseil d'administration de la *Société minérale de Saint-Étienne* chargea une commission de trois membres d'en étudier le fonctionnement. Nous allons donner, en peu de mots, les résultats obtenus et consignés dans le rapport de M. *Léon de Grand-Boulogne*, membre de la commission et rapporteur (1).

*Description de l'appareil.* — Le four *Appolt*, représenté dans les fig. 44, 45 et 46 (pl. 6), a en vue de :

1° Diviser la masse de houille à carboniser en plus petites portions qu'elle ne l'est dans les autres fours ;

2° Créer une grande surface de chauffe à l'intérieur du four pour obtenir une pénétration rapide de la houille par la chaleur ;

3° Obtenir cette surface de chauffe au moyen de cloisons verticales doubles laissant entre elles des espaces vides où circulent librement et où sont brûlés les gaz dégagés de la houille;

4° Laisser sortir les gaz et les faire brûler, de manière à ce qu'ils échauffent uniformément toutes les parties du four ;

5° Diminuer la surface extérieure du four relativement à la charge de houille à carboniser dans un temps donné;

6° Garantir plus efficacement les portes de chargement et de déchargement, afin de réduire la déperdition de chaleur ;

7° Disposer l'appareil de manière à obtenir à la fois une économie de temps et de main-d'œuvre dans le chargement et le déchargement.

A cet effet, il se compose, dans sa partie essentielle, d'un espace prismatique à base rectangulaire, revêtu extérieurement d'une enveloppe en maçonnerie et divisé intérieurement en six compartiments semblables ( fig. 44, 45 et 46 ), ayant également la forme de prismes rectangulaires, d'une hauteur assez grande (3m,71) relativement aux deux autres dimensions (1m,27, 0m,40), section horizontale à la base. Ces compartiments, dont les parois de 0m,16 d'épaisseur, en briques réfractaires, sont séparées entre elles par des espaces vides variant depuis 0m,18 jusqu'à 0m,29 de largeur, sont disposés en deux séries de trois compartiments. L'ensemble de ces compartiments

(1) Voir *Bulletin de la Société minérale*, tome IV, pages 24 et 45.

Digitized by Google

est enveloppé d'une chemise également en briques réfractaires, séparée aussi des compartiments voisins par des espaces vides de 0m,18 de section.

Dans le but de diminuer la déperdition de chaleur, la chemise est séparée de la maçonnerie extérieure par un lit d'escarbilles.

Pour rendre les compartiments bien solidaires et d'une grande stabilité, on les a reliés entre eux et avec la chemise par des briques réfractaires R (fig. 46) de liaison ou de refend, symétriquement disposées dans les espaces vides, de manière à ce que tous ces espaces indistinctement communiquent librement entre eux.

A chaque compartiment, on a ménagé deux ouvertures qui peuvent se fermer hermétiquement, l'une en haut par où se fait le chargement de la houille, et l'autre en bas par où se fait le déchargement du coke. Dans la partie inférieure de leurs faces latérales, sont réservées aux joints des briques, des fentes de 0m,06 de longueur horizontale et de 0m,02 de hauteur. Au four de Soulzbach, la plus grande dimension de ces fentes étant verticale, il suffisait d'éloigner de 0m,02 les deux briques en regard de l'ouverture. Au four de Rive-de-Gier, où ces fentes sont horizontales, il a fallu employer un modèle spécial de briques présentant une échancrure sur un angle : cette modification apportée au four de Rive-de-Gier a eu pour but de diminuer les chances d'obstruction des fentes par le tassement de la houille chargée.

Il est important d'observer qu'elles doivent être en plus grand nombre sur les faces en regard de la chemise, parce que ces parties du four tendent à se refroidir plus rapidement. Les fentes les plus élevées ne sont qu'à 1m,25 au-dessus de l'ouverture de déchargement.

Les gaz, en débouchant des fentes dans les espaces vides, sont brûlés au moyen de l'air atmosphérique introduit par des évents de 0m,10 de côté, pratiqués dans les faces latérales et inférieures du four. Leur combustion développe une chaleur très-intense qui peut opérer en vingt-quatre heures la carbonisation complète de toute la charge de houille. Quand les gaz sont brûlés, ils sont appelés dans des conduits ménagés dans les faces longues de l'enveloppe extérieure du four. Ces conduits, au nombre de six sur chaque face, communiquent et font appel dans la totalité des espaces vides par les ouvertures horizontales H (fig. 45). Les parties verticales et inclinées de ces conduits sont munies de registres pour régler le tirage. On voit (fig. 44, 45, 46) que les trois conduits inférieurs se réunissent à 1 mètre au-dessus de la partie horizontale et communiquent à la cheminée par le conduit horizontal M, tandis que les trois conduits supérieurs communiquent avec la cheminée par un autre canal H' M' juxtaposé au précédent, dont il est séparé par une cloison en briques réfractaires *m* (fig. 44).

Les ouvertures L L, ménagées aussi dans le massif extérieur du four, sont destinées à opérer au besoin le nettoyage des espaces vides. La maçonnerie extérieure est encore traversée par les petites ouvertures *e*, *e* (fig. 45) ou évents destinés à l'introduction de l'air atmosphérique.

Dans le massif de la base du four, on a ménagé deux couloirs P (fig. 44) voûtés dans le sens de la plus grande longueur. Ces couloirs, placés dans l'axe des deux rangées de compartiments, laissent en dessous l'espace nécessaire pour le jeu des fonds mobiles et la descente des gâteaux de coke. C'est dans ces deux couloirs que l'on amène le waggon de déchargement. Les arêtes de ces voûtes sont garnies avec des arceaux en fonte de même rayon, ayant 0m,01 d'épaisseur sur 0m,07 de largeur dans les deux sens. Un autre petit couloir, de même hauteur de voûte et transversal aux premiers, traverse aussi la maçonnerie de part en part; il a pour but de faciliter la manœuvre du déchargement. Pour éviter le brisement du coke en trop petits morceaux lorsqu'il tombe dans le waggon, on a placé, en dessous du point d'appui des voûtes longitudinales, des taques d'arrêt T, T... (fig. 44), inclinées, en fonte, et régnant sous tous les compartiments. Ces

Digitized by Google

taques d'arrêt ont aussi l'avantage de diminuer la hauteur de chute dont le choc pourrait déformer le fond du waggon.

Au-dessus des ouvertures ménagées dans les voûtes des couloirs, sont placés des cadres en fonte de 0m,03 d'épaisseur, sur lesquels reposent les murs des compartiments; à ces cadres sont adaptées des portes également en fonte s'ouvrant de haut en bas et formant la fermeture inférieure des fours. Ces portes ou fonds mobiles (fig. 44, 47, 48) sont solidement fixés, au moyen de fortes bandes de fer, à une charnière se mouvant dans deux de trois gonds attachés au cadre en fonte: une barre de fer *f*, pivotant autour d'un boulon central et glissant sur deux nervures *n*, *n*, peut s'engager, par ses deux extrémités, dans les poignées *p*, *p* adhérentes au cadre, et permet d'ouvrir ou de fermer la porte. L'extrémité de la charnière du côté de la grande face du four est terminée par une partie carrée $\tau$ finissant en pointe et pouvant s'emboîter exactement dans une clef en fer (fig. 49), assez longue pour traverser toute la maçonnerie; à l'extrémité extérieure de cette clef, on adapte le levier D muni d'une chaîne ou d'une corde pour en faciliter la manœuvre. Ce levier doit être assez long pour qu'un homme seul puisse tenir la porte fermée lorsque toute la charge du coke pèse sur elle. Des tuyaux en fonte *t*, *t*, *t* (fig. 45) sont encastrés dans le massif extérieur du four pour recevoir et guider la clef vers la pointe des charnières.

La partie supérieure des compartiments est rétrécie graduellement, dans le sens du plus grand axe de la base (fig. 44), par des briques disposées en gradins renversés, de manière à ne laisser qu'une ouverture carrée de 0m,35 de côté. Cette ouverture, par laquelle se fait le chargement, peut être fermée hermétiquement par un couvercle en fonte garni, par-dessous, de briques réfractaires, et muni, au centre, d'un tuyau *qui permet de recueillir, si l'on veut, une partie des gaz de la houille*. En dessous du dernier gradin renversé, les compartiments vont en s'évasant peu à peu vers le bas, pour faciliter la descente du gâteau de coke quand l'opération est terminée.

Le dessus des espaces vides est fermé par des assises de briques réfractaires au-dessus desquelles sont ménagées des cavités remplies d'escarbilles, dans le but de diminuer la déperdition de chaleur et de donner une certaine élasticité à la partie supérieure du four.

Pour faciliter l'écoulement des eaux pluviales et protéger la maçonnerie de la plate-forme du four, on a donné à cette plate-forme une légère inclinaison partant du milieu et dans le sens des côtés longs du four, et on l'a garnie de plaques de fonte dans sa partie centrale, tout autour des portes de chargement. Entre les deux séries de compartiments règne un chemin de fer sur lequel circule le waggon de chargement.

### *Rendement.*

Pour avoir des notions bien exactes sur le rendement qu'on peut obtenir par ce système de carbonisation, la commission de l'industrie minérale a fait deux expériences, l'une sur un chargement de menu sortant, l'autre sur de la houille tamisée. Ces deux expériences ont donné des résultats qui concordent avec ceux obtenus précédemment par MM. Appolt. Voici le tableau de dix opérations pour lesquelles on a pris exactement les poids des escarbilles et du charbon chargés :

Digitized by Google

| Dates des opérations. | Poids du ch. chargé. | État de la houille. | QUANT. DE COKE OBTENUE. Gros. | Menu. | Total. | RENDEMENT POUR 100. Gros. | Menu. | Total. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 octobre 1856..... | 1,200 | Tamisée..... | 865 | 50 | 915 | 72,30 | 4,10 | 76,40 |
| 9 *idem*..... | 1,200 | *Idem*..... | 852 | 66 | 918 | 71,00 | 5,50 | 76,50 |
| 10 *idem*..... | 1,200 | Menu sortant.. | 874 | 65 | 939 | 72,80 | 5,40 | 78,20 |
| 10 *idem*..... | 1,200 | *Idem*..... | 880 | 63 | 943 | 73,30 | 5,30 | 78,60 |
| 13 *idem*..... | 1,200 | *Idem*..... | 854 | 68 | 922 | 71,00 | 5,60 | 76,60 |
| 13 *idem*..... | 1,200 | *Idem*..... | 888 | 50 | 938 | 74,00 | 4,10 | 78,10 |
| 14 *idem*..... | 1,200 | *Idem*..... | 861 | 59 | 920 | 71,70 | 5,00 | 76,70 |
| 14 *idem*..... | 1,200 | *Idem*..... | 866 | 50 | 916 | 72,10 | 4,10 | 76,20 |

*Expériences faites par la commission.*

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Du 25 au 26 octobre.... | 1,250 | Tamisée..... | 885 | Menu... 34 / Pouss$^{re}$. 17 | 936 | 70,80 | 2,80 / 1,40 | 75,00 |
| Du 27 au 28 octobre.... | 1,250 | Menu sortant.. | 900 | Menu... 51 / Pouss$^{re}$. 19 | 974 | 72,00 | 4,40 / 1,50 | 77,90 |

*Conclusions de la commission.*

De tous les faits que nous venons de signaler il résulte que :

1° Les frais d'établissement pour le petit four de Rive-de-Gier ont été proportionnellement beaucoup plus élevés que pour un four de 12 compartiments;

2° La solidité de la construction ne laisse rien à désirer, puisque, après six semaines de marche, les parties intérieures du four n'ont pas subi la moindre déformation ou usure;

3° La main-d'œuvre pour le service du petit four d'essai dépasse de beaucoup celle qui suffirait pour une carbonisation courante;

4° Il a fallu une attention particulière et une main-d'œuvre supplémentaire pour la conduite des expériences;

5° Le principe essentiel sur lequel repose ce mode de carbonisation, savoir : qu'on peut carboniser la houille en vase clos au moyen de la chaleur développée par les gaz seuls qui s'en dégagent, est mis hors de doute;

6° Le rendement est bien supérieur à celui des fours ordinaires, et il n'y a jamais formation de cendres;

7° La qualité du coke n'a été satisfaisante que pour un certain nombre de fournées. Mais on peut juger, d'après les échantillons choisis, que le coke ainsi produit peut jouir de toutes les qualités d'un bon coke métallurgique.

Dans le but d'obtenir des résultats plus satisfaisants et plus concluants, MM. Appolt se proposent de reprendre leurs expériences sur le petit four de Rive-de-Gier, auquel ils apporteront les modifications nécessaires pour atteindre la température qu'exige la carbonisation de la houille telle qu'on la trouve dans la localité ; ils ont même le projet d'agrandir ce four à 12 compartiments.

Après l'examen des faits et expériences qui se sont passés sous nos yeux, nous ne pouvons pas douter que cette ingénieuse invention, pour laquelle MM. Appolt frères ont pris des brevets en Belgique, en Angleterre et en France, ne fasse faire un grand pas à l'industrie, aujourd'hui si importante, de la fabrication du coke.

Depuis le rapport précité, des expériences faites aux hauts fourneaux de *Marquise* ont confirmé pleinement les espérances émises par la commission de Rive-de-Gier et démontré que :

1° Il est impossible d'obtenir une carbonisation rapide et complète par la chaleur de combus-

Digitized by Google

tion des produits volatils, transmise de l'extérieur à l'intérieur, sans introduction d'air à l'intérieur du four.

2° On obtient, par ce moyen, un bon coke métallurgique, sans déchet sensible en menus ou grésillons, et un rendement égal au rendement en petit ou théorique.

3° Les frais de main-d'œuvre, très-élevés au four de Rive-de-Gier, ont été abaissés, à Marquise, au-dessous de ce qu'ils sont dans les meilleures carbonisations en fours ordinaires. En concentrant la production sur un espace réduit, le système Appolt permet, dans les manipulations de la houille et du coke, l'emploi de moyens simples et puissants.

4° Le coût des fours Appolt comparé à leur production et, par suite, les frais d'intérêt et d'amortissement à prélever comme dépenses de fabrication ne sont pas sensiblement plus élevés que dans la carbonisation en fours ordinaires.

Enfin il résulte d'une lettre écrite par M. *Rexroth*, directeur des fours à coke de M. de Wendel, et insérée dans la deuxième livraison (tome V) du *Bulletin de la Société minérale*, que :

Les résultats de la carbonisation, dans les fours *Appolt*, sont tout à fait satisfaisants. Le rendement est de 66 à 67 pour 0/0, tandis que dans les autres fours il ne dépasse pas le chiffre de 61. Le coke est très-dense et moins friable que celui d'autres fours.

*Procédé Knab.* — Le procédé de M. *Knab*, qui fonctionne en grand dans les environs de Paris, à *Saint-Étienne* (Loire) et dans plusieurs autres localités, a pour but, tout à la fois, de décomposer la houille en ses éléments principaux, et d'obtenir chacun d'eux aussi irréprochable que si l'opération avait été exclusivement dirigée en vue de son obtention.

Dire que, dès aujourd'hui, le problème que s'est posé M. Knab est complétement résolu, ce serait plutôt nuire à cet ingénieux procédé que lui être utile; pour nous, ce procédé, quels qu'en soient les résultats, est un grand pas de fait dans la civilisation industrielle, en ce sens qu'il pose en principe que, pour obtenir un produit utile, on ne doit pas, par cette raison seule, en sacrifier d'autres non moins utiles. Quand on pense à tout le calorique qui se dépense en pure perte pour la carbonisation de la houille qui, à une époque déterminée, devra nécessairement faire défaut, on ne peut qu'éprouver une vive sympathie pour un procédé dont le but est d'économiser ce précieux combustible.

Les trois éléments principaux de la houille étant :

Un solide, le coke,
Un liquide, le goudron,
Un gazeux, l'hydrogène carboné,

il suffit, pour obtenir chacun de ces éléments isolés, de distiller la houille à haute température en vase clos et de faire circuler les produits de la distillation dans un condenseur avant de les rendre au gazomètre. C'est ce qui se fait dans toutes les usines à gaz; seulement, quand on emploie des cornues en fonte, le métal ne comporte pas la température qui est nécessaire pour expulser complétement les matières volatiles du coke; il en résulte que ce dernier produit est mou et friable et ne peut convenir pour les usages métallurgiques.

Quand on emploie les cornues en terre, la température peut être poussée aussi loin qu'il est nécessaire pour faire du bon coke; mais, comme les dimensions des cornues sont, comparativement à celles des fours à coke, extrêmement petites, les morceaux qu'on en retire sont eux-mêmes très-petits et subissent un grand déchet avant d'être utilisés. En outre, la pression est plus grande que dans les fours à air libre et les parois intérieures se tapissent rapidement de graphite adhérent, qui nuit à la transmission du calorique; enfin le fonctionnement à très-haute température détériore assez promptement les appareils; toutes ces causes réunies font que la carbonisation en



Digitized by Google

cornue n'a pu, jusqu'à ce jour, remplacer la carbonisation dans les fours pour la fabrication du coke métallurgique.

Cependant nous serions injuste si nous passions sous silence un mémoire qui a été présenté à la Société des ingénieurs civils, par *M. Cazes*, ingénieur de l'usine de Saint-Louis (Marseille), dans la séance du 27 avril 1860, et qui concerne, précisément, *l'emploi, dans les hauts fourneaux, du coke des cornues à gaz*. Comme la question est excessivement intéressante, nous croyons devoir faire précéder la description du procédé *Knab* du compte rendu de ce mémoire, tel qu'il a été inséré dans le bulletin de ladite Société :

« Jusqu'à présent le coke provenant de la fabrication du gaz avait été considéré comme impropre à la fabrication de la fonte. Des expériences commencées depuis plus de deux ans et continuées sans interruption jusqu'à ce jour aux hauts fourneaux de Saint-Louis, près Marseille, par l'initiative de MM. A. Burat, ingénieur du conseil, et P. Briqueler, directeur de l'exploitation des gaz et hauts fourneaux de Marseille, paraissent prouver que ce coke, convenablement employé, peut rendre les mêmes services qu'un coke provenant d'une fabrication spéciale.

« L'usine de Saint-Louis, créée par la Société J. Mirès et C^e^, propriétaire des houillères de Portes et Sénéchas, et concessionnaire de l'éclairage public et privé de la ville de Marseille, devait amener à la fois l'écoulement des menus de la houillère et des excédants de coke de l'usine à gaz d'Arenc, si l'emploi de ceux-ci était reconnu possible.

« Les essais commencèrent au mois de janvier 1858, au haut fourneau n° 1, sous la direction de M. C. Gaulliard.

« Les chiffres suivants sont empruntés à une note adressée, au mois de décembre 1858, à la Société de l'industrie minérale.

« Le fourneau avait une bonne allure de fonte grise de moulage n^os^ 1 et 2. La charge était de 360 kilog. minerai, 325 kilog. coke de Portes, les buses au nombre de deux de 74 millimètres de diamètre, la pression du vent mesurée aux tuyères de 8 centimètres de mercure, la température moyenne de l'air lancé de 300° centigrades environ, les laitiers blanc bleuâtre, très-chauds, courts, demi-pierreux, et offrant une composition moyenne 0.40 silice, 0.39 chaux, 0.20 alumine, 0.01 au maximum oxyde de fer, composition qui, avec les minerais employés à Saint-Louis (île d'Elbe, Espagne, Toscane), correspond aux fontes de moulage les plus chaudes et les plus résistantes. La production journalière était de 14 tonnes, la consommation de coke de 1.400 kilog. par tonne de fonte, et la résistance au choc très-considérable. L'essai se faisait avec l'appareil ordinaire. La rupture par un seul choc ne se produisait que sous une hauteur de chute de 1^m^.20 à 1^m^.40, et par chocs successifs espacés de 0^m^.05 en partant de 0^m^.50, sous une chute de 0^m^.85 à 1^m^.00 après 8 à 11 chocs.

« C'est dans ces conditions que la charge de 325 kilog. coke Portes fut d'abord remplacée par une charge de 25 kilog. coke gaz et 300 kilog. coke Portes, sans aucune modification dans les dosages en minerai et castine, le vent et la pression. Quatre jours plus tard, aucun changement ne s'étant produit dans l'allure, la charge de coke fut encore modifiée en 50 kilog. coke gaz + 275 kilog. coke Portes sans aucun autre changement. Quatre jours après, la proportion fut portée à 100 kilog. coke gaz pour 225 kilog. coke Portes, avec une réduction de 1 centimètre dans la pression du vent, ramenée ainsi à 7 centimètres pour tenir compte de la nature plus friable du nouveau mélange. Quinze jours de ce nouveau dosage, loin de nuire à la marche du fourneau, de refroidir l'allure et d'abaisser la qualité de la fonte, principalement employée en moulages de première fusion (coussinets, ornements et sablerie), amenèrent une amélioration de la qualité des gaz employés au chauffage des chaudières et des appareils à air chaud. On put élever de 300 à 330° la température de l'air lancé ; la fonte devint graphiteuse, et il fallut augmenter un peu la charge en minerai.

Digitized by Google

« La ténacité des fontes, en comparant entre eux les mêmes numéros, n'avait rien perdu.

« L'allure chaude se maintint encore avec la proportion de 150 kilog. coke gaz et 175 kilog. coke Portes.

« Par des augmentations progressives, nous arrivâmes enfin à supprimer complétement le coke de Portes, un peu plus d'un mois après le commencement des essais, et à employer le coke du gaz seul. Au bout d'une dizaine de jours de cette charge, nous pûmes remarquer une production abondante de fraisil qui encombrait le creuset, quoiqu'on l'enlevât à la pelle à chaque travail de fourneau, et la formation de garnissages dans l'ouvrage et le creuset, dont la capacité se trouvait par là notablement diminuée.

« La charge de coke fut alors ramenée à 225 kilog. coke de gaz et 100 kilog. coke de Portes, et avec cette proportion nous vîmes cesser les effets inquiétants que nous avions observés précédemment, tout en conservant l'allure chaude et la charge plus forte en minerai à laquelle nous étions arrivés.

« A la suite de ces essais, ce coke n'a pas cessé d'être employé dans les fourneaux concurremment avec le coke de Portes, la proportion du mélange étant réglée surtout par les excédants dont disposait l'usine à gaz.

« Les principales remarques que nous ayons eu lieu de faire, et qui peuvent servir de guide dans cet emploi, sont les suivantes :

« Le coke provenant des cornues à gaz, en raison même de son mode rapide de fabrication, offre une structure assez poreuse. Le pied est néanmoins assez résistant ; mais la surface offre, sur une certaine épaisseur, variable, une croûte scoriacée et boursouflée, une sorte d'éponge où les vides deviennent prédominants.

« Cette partie friable, sous l'effet mécanique de la pression du frottement et des matières, se désagrége, et donne lieu au fraisil, et aux garnissages dans l'ouvrage, s'il s'en produit trop, par les garnissages réfractaires qu'il peut former en s'empâtant sur les parois du fourneau avec des laitiers d'allure chaude très-peu fusibles eux-mêmes, où avec des particules de fer décarburées par un trop long séjour dans les régions oxydantes. On évitera facilement ces garnissages et les inconvénients de toute sorte qui en résultent pour la marche régulière du fourneau, par l'introduction, dans des charges, d'une proportion convenable de coke moins friable.

« Les garnissages faciles peuvent devenir utiles pour la conduite du fourneau, dans le cas où les parties inférieures du fourneau ayant été vivement attaquées et rongées par les laitiers demandent à être réparées ; ils permettront de reformer ainsi un ouvrage et un creuset factices, dont la formation sera conduite à volonté et arrêtée par un nouveau changement de la charge.

« La production la plus abondante de gaz riches donne toutes facilités pour élever la température de l'air lancé dans le fourneau, et par suite pour abaisser le point de fusion et élever la température du creuset et de l'ouvrage, conditions qui assurent la marche régulière du fourneau et contre-balancent les mouvements attachés à la production des fraisils.

« Le gaz donne plus de poussière dans les conduites ; cet inconvénient est dû en partie sans doute à la friabilité du coke, en partie aux produits condensables contenus dans ces gaz, qui, par le refroidissement, se déposent et cimentent les poussières entraînées, empêchant ainsi le courant gazeux de les porter au loin ; l'obstruction assez rapide des tuyaux, qui en résulte, nécessite simplement un nettoyage plus fréquent de ces conduites.

« Enfin, dans le cas particulier qui nous occupe, les cendres du coke gaz étant plus calcaires que celles du coke de Portes, à cause du mélange d'une certaine proportion de houille anglaise aux menus de Portes pour la fabrication du gaz d'éclairage, le dosage ne nécessitait pas une aussi grande quantité de castine dans la charge. De là un poids de laitier moindre à fondre, et une

Digitized by Google

petite augmentation de l'effet utile de combustible à ajouter à celle qui résulte, d'autre part, de l'accroissement de charge en minerai.

« Les résultats obtenus à la suite de ces essais dans le haut fourneau n° 2, mis en feu au mois d'octobre 1858, sont venus pleinement confirmer les précédents. On a obtenu depuis la mise en feu une allure régulière en fontes grises n^os^ 1, 2 et 3, avec une consommation moyenne de 1.100 kilog. de coke par tonne de fonte, le rendement moyen des mélanges de minerai étant de 55 à 58 p. 100. Les premiers mois de roulement ont même donné des consommations moyennes de 990 kilog. à 1.050 kilog. coke par tonne de fonte n° 1 et graphiteuse.

« Quelle que soit, dans ces derniers résultats, la part à attribuer à l'emploi d'un appareil neuf, à quelques modifications des formes intérieures, et notamment à un élargissement du gueulard, tout semble prouver que le coke du gaz n'a pas fait preuve de l'infériorité marquée qu'on lui supposait, et qu'il peut être employé à la fabrication de la fonte, sans détriment pour cette fabrication.

« M. Cazes pense, en résumé, avec M. Gaulliard, que le seul soin à prendre pour l'emploi de ce coke, comme coke métallurgique, réside dans l'appropriation attentive de la pression du vent à sa nature plus ou moins friable, et dans son emploi en mélange si cette friabilité est trop grande.

« Enfin, sans présumer, pour cela, de l'impossibilité d'arriver à un bon résultat, aucun effet convenable de l'essai de ce coke dans les cubilots pour la seconde fusion n'a été obtenu jusqu'à présent.

« Sur la demande de M. le président, M. Cazes ajoute à ce qu'il vient de dire que le poids spécifique du coke était déterminé de temps à autre par la pesée directe des mannes servant au chargement.

« La différence de poids entre le coke des cornues à gaz et celui des cokes de Portes Sénéchas était de 30 kilog. par mètre cube.

« Pour avoir du coke un peu plus dense, on avait essayé d'employer des cornues plus grandes (les cornues sont en terre réfractaire), mais on y a renoncé parce que la production de gaz était trop lente. »

Le procédé *Knab* consiste (fig. 50, 51, 52, pl. 7, et fig. 53, 54, 55, 56, 57, 58, pl. 8) à faire fonctionner les fours en briques comme s'ils étaient de véritables vases clos d'un seul morceau. A cet effet, l'inventeur place entre le four et le gazomètre une pompe aspirante et foulante dont la vitesse est réglée de telle façon que la pression à l'intérieur des fours reste constamment égale à la pression atmosphérique extérieure.

Les figures 50 et 51 représentent l'élévation et le plan d'un groupe de trois fours fonctionnants; on a :

A, fours de carbonisation, à sole chauffée par un foyer spécial dont le détail est indiqué dans les figures 53 et 54 (pl. 8).

Le chargement des fours se fait au moyen de waggons roulant sur un chemin de fer établi sur les fours et versant le charbon, à l'aide d'un entonnoir mobile, par les orifices *a*. Pendant le chargement qui se fait à four chaud, les portes *b*, *c* de défournement sont ouvertes, et des ouvriers munis de ringards étalent aussi uniformément que possible le charbon sur la sole.

Le défournement se fait d'une manière analogue au procédé du *Creusot;* seulement, au lieu d'un râteau mû par un cheval, on emploie un *repoussoir* en fonte B, mû à bras d'homme.

C, pompe aspirante et foulante mue par une machine à vapeur. Cette pompe, représentée en détails dans les fig. 55 et 56 (pl. 8), se compose de trois cloches recevant leur mouvement de manivelles dont les boutons forment les trois sommets d'un triangle équilatéral. Comme il ne doit pas y avoir de différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur, ces cloches sont le meilleur système qu'on pouvait adopter; de plus, l'aspiration s'y fait avec une régularité parfaite.

Digitized by Google

Les goudrons, volatilisés par la température des fours et emportés par le gaz, se condensent dans le tuyau D, conduisant le gaz à la pompe; de distance en distance, ce tuyau est muni de siphons *d* (fig. 52), qui permettent au goudron liquide de s'écouler au dehors.

Comme le goudron entraîné par le gaz n'est pas entièrement condensé en arrivant à la pompe, cette dernière renvoie les gaz dans une caisse E, représentée en détail dans les figures 55, 56, 57 (pl. 8), où ils sont forcés de traverser de l'eau et achèvent de se débarrasser du goudron. De cette caisse les gaz se rendent au gazomètre F par le tuyau H.

Entre les fours et les cloches d'aspiration se trouve un appareil représenté dans la fig. 58 (pl. 8), qui porte le nom de régulateur et a pour but de rendre constante la vitesse de la machine en lui donnant toujours le même travail à effectuer. Il se compose d'une cloche *a*, plongeant dans l'eau, dont le poids est équilibré; les gaz arrivent des fours dans cette cloche par le tuyau *b* et se rendent aux cloches d'aspiration par le tuyau *c*. Au sommet de la cloche *a* est suspendu un cône *d* qui rétrécit l'orifice de passage *e* quand la cloche se soulève, et l'agrandit, au contraire, quand la cloche s'abaisse; il en résulte que, si les fours donnent subitement une forte proportion de gaz, la cloche *a* se soulève et emmagasine provisoirement une partie du gaz produit. Il y a donc, momentanément, un supplément de pression dans les fours, mais cela ne dure que quelques instants. Un manomètre à eau et à air libre, placé près de la machine à vapeur, indique au machiniste l'excès de pression qui existe à l'intérieur des fours; il en résulte que, si cet excès de pression persiste quelque temps, ce dernier augmente la vitesse d'aspiration, et réciproquement. A notre avis, le manomètre est, des deux objets, le plus indispensable, car il ne faut ni excès ni insuffisance de pression dans les fours. En effet, quand la pression intérieure est supérieure à la pression extérieure, les gaz tendent à s'échapper par les joints des briques; quand, au contraire, elle est inférieure, l'air tend à pénétrer dans les fours et à y produire des explosions, qui peuvent être, parfois, dangereuses. Nous devons dire, néanmoins, que, si, lors de la mise en train de quelques usines de ce genre, l'inexpérience des agents a favorisé quelques explosions qui ont eu lieu, le fait peut être considéré comme accidentel, car il ne s'est renouvelé dans aucune des usines qui marchent depuis longtemps.

L'aspiration nécessite donc une surveillance de tous les instants; c'est là un des inconvénients du système, parce qu'on ne peut guère compter sur l'attention des ouvriers. Cependant la difficulté est abordable, surtout si on fonctionne sur une très-grande échelle, auquel cas les défournements et enfournements continuels régularisent la production et permettent presque de donner à la pompe une vitesse uniforme.

Il est incontestable que, le jour où le procédé *Knab* aura pleinement réussi, les conditions de la fabrication seront changées pour un grand nombre d'industries. En effet, la carbonisation du coke permettant d'utiliser convenablement les trois produits qui en résultent, ces trois produits coûteront moins cher et pourront être appliqués à des usages nouveaux, comme aussi ils pourront reprendre leur service là où ils ont été abandonnés.

Si on les considère seulement comme combustible, on voit que :

1° En ce qui concerne le *coke*, les *locomotives* et les fonderies d'*acier*, qui cherchent à s'en passer à cause de son prix de revient élevé, le reprendront et s'en serviront comme par le passé;

2° En ce qui concerne le *goudron*, du moment où le prix de cette substance sera peu élevé, la marine aura tout avantage à le substituer à la houille pour le chauffage de ses chaudières : il occupera peu de place et sera d'un embarquement facile;

3° En ce qui concerne le *gaz*, du moment où son prix sera aussi peu élevé, les fours à réverbère n'auront plus aucun avantage à être chauffés par la flamme de la houille, dont moitié environ se dégage sans avoir été brûlée; même observation pour les chaudières à vapeur, et

Digitized by Google

pour la fusion de l'acier au four à réverbère. Dans ce dernier cas, la lutte ne sera plus entre le coke très-cher et la houille bon marché, mais entre le coke bon marché et le gaz également bon marché.

Les travaux de quelques métallurgistes, notamment de MM. *Thomas* et *Laurens*, ont montré, il y a déjà plusieurs années, que les gaz des hauts fourneaux, et ceux obtenus par le procédé du gazogène de ces ingénieurs, sont susceptibles de s'appliquer avantageusement aux fours à réverbères et autres foyers, quoique contenant une certaine partie d'azote; l'expérience a même prouvé que les *fers au gaz* possèdent une qualité s'approchant de celle des fers affinés au charbon de bois.

Le procédé *Knab* ou tout autre système analogue de production de gaz, s'il réussit, doit donc avoir essentiellement pour effet de grouper autour des usines à gaz combustibles les hauts fourneaux qui consomment le coke et les forges qui consomment les gaz; en outre, il modifie les conditions de navigation à la vapeur, en permettant d'accumuler une plus grande proportion de puissance calorifique dans un espace déterminé, tout en diminuant le tonnage du combustible. Enfin il met les locomotives dans la nécessité de reprendre le coke comme combustible, ce qui n'est pas sans intérêt pour les riverains des chemins de fer que la fumée de houille incommode beaucoup.

On vient d'établir des fours, du système *Knab*, à *Alais* (Gard). Le mode employé pour aspirer les gaz y diffère de celui que nous venons de décrire en ce que, ces derniers étant intégralement affectés au chauffage des fours, on a supprimé, du même coup, l'aspirateur et le gazomètre; on les a remplacés par une cheminée à fort tirage, qui aspire les gaz brûlés. Il paraît que ces fours fonctionnent très-bien.

# TITRE IV.

## DU SOUFFLAGE.

Le soufflage est une opération mécanique dont le but est, comme nous l'avons vu (page 88), d'activer la combustion dans l'ouvrage et les étalages; les appareils au moyen desquels il s'effectue sont de deux espèces, savoir :

Les appareils à vent continu,
Les appareils à vent intermittent.

La combustion ne pouvant que gagner, en régularité et en effet utile, à la continuité du vent, et ne pouvant, au contraire, dans beaucoup de cas, comporter son intermittence, les appareils à vent intermittent sont presque toujours accompagnés d'un autre appareil, dit *régulateur à vent*, dont le but est de rendre insensible à la combustion l'intermittence du premier.

Nous allons passer successivement en revue tous ces appareils.

## CHAPITRE PREMIER.

### DES APPAREILS A VENT CONTINU.

Les appareils à vent continu, généralement employés pour activer la combustion, sont de deux genres, savoir :

Digitized by Google

Les trompes,
Les ventilateurs.

Les *trompes* (fig. 59, pl. 9), que l'on emploie presque exclusivement au soufflage des *foyers catalans*, sont des appareils basés sur le principe de l'entraînement par contact, qui a lieu lorsque deux fluides, l'un en mouvement, l'autre en repos, sont en présence. Ces appareils, qui consomment énormément d'eau, pour un très-petit effet utile produit, ne conviennent que là où l'eau, tombant d'une hauteur assez grande, est en excès et où une forte pression n'est pas indispensable.

Ils consistent en un réservoir supérieur A, situé à 5, 6, 7 mètres et plus au-dessus du sol, se vidant inférieurement dans un ou plusieurs tuyaux verticaux BB, dont la partie supérieure *a b* est légèrement conique et munie de trois ou quatre orifices plongeants *c c*, par lesquels l'air est aspiré du dehors, par suite de l'entraînement par l'eau de celui qui se trouve en contact avec elle. La vitesse acquise par cet air, en circulant dans le tuyau, correspond à une pression génératrice d'écoulement qu'on utilise en faisant tomber l'eau du tuyau BB dans une capacité fermée C, d'où elle ne s'échappe, par le tube monométrique D, qu'en remontant d'une quantité équivalente à la pression engendrée par la vitesse acquise de l'air en mouvement. Le soufflage au moyen de l'air comprimé dans la caisse C a lieu par l'intermédiaire d'un tuyau E fixé à sa partie supérieure.

D'après M. Walter de Saint-Ange, auquel nous empruntons ces détails, les trompes donnent, en moyenne, 1 mètre cube d'air par mètre cube d'eau employée, la hauteur de chute variant entre 5 et 7 mètres; de plus, la hauteur manométrique varie entre 3 et 7 centimètres de mercure, suivant que la dépense d'eau est plus ou moins forte, par rapport à celle de l'air entraîné. Enfin l'effet utile des trompes n'est, en moyenne, que le 0.12 de la force motrice théoriquement dépensée.

Les *ventilateurs* sont des appareils basés sur la force centrifuge qu'acquièrent les corps en rotation autour d'un axe; ils consistent, généralement (fig. 60, 61, 62, 63), en deux ou quatre ailettes montées sur un arbre faisant de 600 à 1,200 tours par minute dans une capacité fermée de tous côtés, sauf, d'une part, autour de l'axe de rotation de l'arbre, pour l'introduction de l'air dans l'appareil et, d'autre part, en un point quelconque de cette capacité, pour conduire l'air comprimé au foyer dans lequel s'effectue la combustion.

Deux conditions importantes sont à remplir, quand on construit un ventilateur, savoir :

La première, c'est que les ailettes se meuvent entre deux parois, soit mobiles avec elles, soit fixes, de manière que la pression, dans la capacité, recevant l'air comprimé, soit partout celle résultant de la force centrifuge à la circonférence maxima des ailettes;

La seconde, c'est que, le volume d'air porté, à chaque instant, du centre à la circonférence extérieure des ailettes, étant constant, le produit de la section, multiplié par la vitesse d'écoulement, soit lui-même constant.

Pour satisfaire à la première condition, on est dans l'usage de renfermer les ailettes dans une cage fixe (fig. 61), dont les parois sont aussi rapprochées que possible de ces dernières.

Pour satisfaire à la seconde condition, il suffit de remarquer que la formule de la force centrifuge étant :

$$f = \frac{m v^2}{r},$$

si $m$ représente la masse d'air en mouvement, $v$ la vitesse de rotation à l'origine des ailettes et $r$ le rayon à cette même origine, on a, en un point quelconque, plus éloigné du centre :

$$f' = \frac{m v'^2}{r'}.$$

Digitized by Google

On a, d'autre part, en remarquant que les vitesses des circonférences sont proportionnelles aux rayons :

$$v' : v :: r' : r;$$

d'où : $$v' = v\frac{r'}{r},$$

et : $$v'^2 = v^2\frac{r'^2}{r^2}.$$

On en déduit, en remplaçant $v'^2$ par sa valeur et en divisant $\varphi$ par $\varphi'$ :

$$\frac{\varphi}{\varphi'} = \frac{m\,v^2\,r^2\,r'}{r\sum m\,v^2\,r'^2} = \frac{r}{r'};$$

c'est-à-dire que les forces centrifuges sont proportionnelles aux rayons. Si $l$ et $l'$ sont les largeurs des sections d'écoulement, c'est-à-dire des palettes, aux extrémités des rayons $r$ et $r'$, comme les quantités d'air écoulées, à ces deux distances de l'axe, sont égales entre elles, on peut supposer, sans grande erreur, que les volumes, quoique soumis à des pressions différentes, sont aussi égaux entre eux. Enfin les vitesses d'écoulement de l'air, depuis l'axe jusqu'à la circonférence, sont entre elles comme les forces centrifuges, c'est-à-dire, d'après ce que nous venons de voir, comme les rayons; on obtient donc, à très-peu près, le rapport entre les largeurs $l$ et $l'$, en posant :

$$\varphi\, l = \varphi'\, l',$$

d'où : $$l' = l\frac{\varphi}{\varphi'} = l\frac{r}{r'};$$

c'est-à-dire que la largeur des ailettes doit aller en diminuant au fur et à mesure que le rayon augmente.

Ainsi, pour un ventilateur dont les ailettes ont $1^m.00$ de diamètre extérieur et $0^m.50$ de diamètre intérieur, on obtient :

$$l' = l\frac{0.25}{0.50} = \frac{1}{2}l.$$

Ce calcul est loin d'être d'une exactitude mathématique, mais, en tous cas, préférable à l'adoption d'une largeur constante pour les ailettes.

Quant à la largeur $l$, elle peut se calculer ainsi:

L'air entre dans le ventilateur par deux cercles ayant chacun pour rayon $r$ et s'écoule par la surface convexe d'un cylindre ayant pour rayon $r'$ et pour hauteur $l$. Les deux sections d'écoulement doivent être égales entre elles, et on a :

$$2\,\pi\,r\,l = 2\,\pi\,r^2,$$

d'où : $$l = \frac{r^2}{r} = r$$

pour $r = 0^m.25. \ldots l = 0^m.25$

$r' = 0^m.50. \ldots l' = 0^m.125.$

Ventilateur Mazeline. — L'un des inconvénients du ventilateur *à petit diamètre* et à grande vitesse est de nécessiter l'emploi des courroies soit simples, soit doubles, suivant la vitesse de rotation du moteur employé à les mettre en mouvement. A l'usine de *Lorette*, nous faisions tourner, à 900 tours, deux ventilateurs, d'un mètre, par une machine à vapeur faisant 60 tours. Le volant-poulie avait $2^m.40$ de diamètre et la poulie de l'arbre des ventilateurs avait $0^m.16$ de diamètre. Cela marchait parfaitement.

Digitized by Google

Pour supprimer complétement les courroies et pouvoir atteler directement le cylindre à vapeur à l'arbre du ventilateur, M. Mazeline a imaginé de donner à ce dernier 2 mètres de diamètre (fig. 70, 71, pl. 11). Dans ce cas, un ventilateur, faisant 450 tours par minute, produit le même effet qu'un autre de 1m.00 faisant 900 tours. Seulement la machine à vapeur fait elle-même 450 tours, ce qui est assez considérable.

Un ventilateur de ce genre ayant été établi à *Rive-de-Gier*, M. *Baldeyrou*, ingénieur, en a fait l'objet d'une note dans le *Bulletin de la Société minérale de Saint-Etienne* (tome 1er, page 53). Il résulte de cette note que l'accroissement de diamètre permet d'obtenir de grands passages pour l'entrée et la sortie de l'air, et que l'on peut fondre au cubilot, avec cet appareil, 6,000 kilog. de fonte en deux heures, le diamètre du cubilot étant de 1m.40 et la pression du vent étant de 0m.21 d'eau. Des renseignements, pris directement par nous, nous permettent d'ajouter que, comme nous l'avons fait pressentir plus haut, le principal écueil de ces appareils est la trop grande vitesse de la machine à vapeur, qui nécessite de fréquentes réparations. Pour nous, nous préférons à cette disposition celle que nous avons citée plus haut.

Ventilateur Bourdon. — Les plus grandes vitesses que l'on a données, jusqu'à ce jour, aux ventilateurs ont permis d'obtenir, pour l'air, des pressions de 10 et quelquefois 15 millimètres de mercure, mais jamais plus. Or, pour les hauts fourneaux, surtout les hauts fourneaux au coke, il faut pouvoir souffler à 8, 10, 12 et même 15 centimètres de mercure; le ventilateur n'y est donc pas employé, et nous aurions pu nous dispenser d'en parler, si ce n'eût été pour arriver au ventilateur Bourdon, qui a pour but de souffler, sinon à 12 ou 15 centimètres, du moins à 5 ou 6, comme on va en juger par la description qui suit :

Le ventilateur de M. *Bourdon*, ingénieur-mécanicien à Paris (fig. 64, 65, 66, 67, 68, 69, pl. 10), diffère du ventilateur ordinaire, en ce que l'enveloppe, qui est fixe dans ce dernier, tourne avec les ailettes et évite la perte de force centrifuge qui résulte du frottement de l'air contre une paroi fixe. Le principe sur lequel il est construit est fort simple :

Lorsqu'un vase circulaire, ayant à peu près la forme de la fig. 64, est animé d'un mouvement de rotation rapide, l'air qui s'y trouve, entraîné par le frottement des parois (frottement qu'on peut augmenter par des lames en rayons fixées sur la surface), tourne immédiatement avec une vitesse à peu près égale à celle du vase; puis, sous l'influence de la force centrifuge, des pressions croissantes se forment en zones concentriques; les plus faibles au centre, les plus fortes à la circonférence; plus on accélère le mouvement, plus la pression augmente.

Si alors on introduit dans ce vase, par l'orifice central, un tuyau recourbé (fig. 67, 68), dont l'orifice se présente en sens contraire du mouvement de l'air, de manière à l'y laisser librement, voici ce qui se produit :

L'air s'y précipite en vertu de la vitesse qui lui est communiquée par le mouvement de rotation du vase, et à cette action s'ajoute celle de la force centrifuge, qui le comprime d'autant plus contre la paroi, que celle-ci est plus éloignée du centre. Le tuyau courbé agit à peu près comme ferait un siphon, pour puiser l'air dans la partie du vase où il est à son maximum de pression.

Et ce qui est digne de remarque, c'est que la pression obtenue est à peu près double de celle qu'on obtiendrait d'un ventilateur à ailettes, de même diamètre, tournant à la même vitesse.

Cela s'explique, lorsqu'on considère que deux actions, la vitesse d'impulsion d'une part et la force centrifuge de l'autre, s'ajoutant, la résultante doit être égale aux deux forces réunies.

A cet avantage s'en joint un autre, qui contribue pour beaucoup à faire produire à ce système de ventilateur une pression d'air qu'on ne peut atteindre avec les ventilateurs de construction ordinaire.

En effet, dans ces derniers, l'air, lancé par l'action des ailettes, tend constamment à refluer



Digitized by Google

vers les orifices latéraux, lorsqu'on diminue, dans une certaine proportion, le passage par lequel il doit s'écouler.

Le jeu qu'il est nécessaire de laisser entre les ailes et l'enveloppe est encore une cause de fuites, qu'on ne peut éviter qu'imparfaitement, même en employant une construction très-soignée, et on conçoit facilement qu'elles deviennent plus considérables, à mesure qu'on augmente la vitesse, pour obtenir une plus forte pression.

Dans celui ici décrit, aucune difficulté de ce genre ne se rencontre. Le vase tournant, ou en d'autres termes, l'enveloppe en métal qui constitue le ventilateur, étant, par sa nature et par son mode de construction, parfaitement en état de contenir l'air, si comprimé qu'il soit, sans qu'il puisse se produire la moindre fuite, on obtient à l'extrémité du tuyau soufflant la pression totale à laquelle l'air se trouve dans l'enveloppe, et, comme cette pression croît dans une proportion beaucoup plus rapide que la vitesse de rotation de l'appareil, on peut, avec des vitesses tout à fait usuelles, obtenir des pressions de 20 à 125 centimètres d'eau.

Ainsi, par exemple, avec un ventilateur de 88 centimètres de diamètre extérieur, tournant à 950 tours par minute, on obtient une pression de 20 centimètres d'eau (soit 14$^{mm}$.7 de mercure).

En doublant cette vitesse, soit 1,900 tours par minute, vitesse qui n'est nullement exagéré pour un ventilateur de ce diamètre, on obtient une pression de 80 centimètres d'eau (soit 59 millimètres de mercure), qui est celle qui convient pour entretenir dans une bonne allure un haut fourneau marchant au charbon de bois.

Avec une vitesse de 2,400 tours on aurait 1 mètre de pression d'eau.

Bien qu'un peu inférieure à celle généralement usitée pour les hauts fourneaux au coke, la pression pourra néanmoins suffire, en donnant aux buses un diamètre un peu plus grand que lorsqu'on se sert de soufflerie à pistons.

Le ventilateur à siphon se compose d'une enveloppe en cuivre mince D (fig. 64), ayant la forme d'une sphère aplatie :

Elle est divisée dans le sens de son plus grand diamètre par une cloison en tôle G (fig. 67), qui est solidement fixée sur un arbre à embase E, renflé vers le milieu pour en augmenter la rigidité.

Chacune des deux coupoles formant l'enveloppe en cuivre est percée, dans son milieu, d'une ouverture de 25 centimètres environ et est garnie de petites lames disposées en rayons et réunies entre elles au moyen d'un disque très-mince, percé, comme les coupoles, d'une ouverture au centre et dont le diamètre extérieur correspond à l'extrémité des lames disposées en rayons.

L'arbre du ventilateur est monté sur deux paliers à réservoirs d'huile et porte à chacune de ses extrémités une poulie destinée à recevoir le mouvement d'un arbre moteur.

Deux chaises en fonte, fixées sur une plaque de fondation, supportent les paliers et servent en même temps de point d'appui aux quatre tuyaux en cuivre qui font l'office de siphons pour puiser l'air comprimé dans l'enveloppe.

Ces quatre tuyaux sont courbés suivant une développante de cercle et placés de manière que l'enveloppe ne puisse les toucher dans son mouvement de rotation.

Comme on le voit, par ce qui vient d'être dit, deux parties distinctes constituent cet appareil :

L'une, fixe, qui se compose du bâti en fonte, des paliers, des quatre tuyaux-siphons et des deux tuyaux collecteurs ;

L'autre, mobile, qui se compose de l'arbre, de ses deux poulies et de l'enveloppe en cuivre rendue solidaire avec l'arbre au moyen du diaphragme en tôle qui la sépare dans son milieu.

*Fonctionnement du ventilateur.* — Le ventilateur étant mis en mouvement, l'air, entraîné dans le mouvement de rotation par l'action des lames placées dans l'intérieur de l'appareil, prend im-

Digitized by Google

médiatement une vitesse à peu près égale à celle du vase qui le contient. La force centrifuge, en même temps qu'elle comprime l'air vers la circonférence, appelle, par les orifices centraux, celui qui doit remplacer le volume débité par l'appareil.

Enfin les quatre tuyaux-siphons, présentant leurs orifices dans le sens convenable pour puiser l'air comprimé au plus près possible de la circonférence intérieure, le conduisent aux tuyères des fourneaux au moyen de deux tuyaux collecteurs avec lesquels ils communiquent.

On voit que, par l'emploi de ce système de ventilateur, on est complétement dispensé de faire usage de ces énormes réservoirs d'air qui, dans les machines à cylindres soufflants, sont absolument nécessaires pour atténuer les irrégularités de pression dues à l'action intermittente des pistons.

Fig. 64. Vue de face, extérieure.
Fig. 65. Vue de côté, extérieure.
Fig. 66. Vue en plan, extérieure.
Fig. 67. Vue de face, en coupe.
Fig. 68. Vue de côté, en coupe.
Fig. 69. Autre vue de côté, en coupe, laissant voir la partie intérieure opposée à celle de la fig. 68.

*Légende.* — A, plaque de fondation ;
BB, chaises en fonte servant à supporter les paliers CC et les tuyaux de vent ;
D, enveloppe en cuivre, de forme sphéroïde aplatie, reliée à l'axe par un diaphragme en tôle G ;
E, axe du ventilateur ;
FF, poulies recevant le mouvement de l'arbre moteur ;
G, diaphragme en tôle ;
H, cercle en fer réunissant les deux moitiés de l'enveloppe au diaphragme G ;
JJ, tuyaux-siphons prenant le vent dans l'enveloppe et le conduisant aux tuyères par les prolongements H ;
K, brides d'assemblage des tuyaux-siphons et de leurs prolongements ;
LL, diaphragmes minces fixés aux parois intérieures de l'enveloppe D et reliés par des rivures aux lames en rayons MM ;
MM, orifices d'entrée d'air.

---

## CHAPITRE II.

### DES APPAREILS A VENT INTERMITTENT.

Les appareils à vent intermittent sont : les *soufflets*, en cuir ou en bois ; les *soufflets hydrauliques*, déjà mentionnés, à propos des appareils de carbonisation de M. *Knab ;* les *machines soufflantes*, en bois ou en fonte. De tous ces appareils, les machines soufflantes en fonte sont aujourd'hui presque exclusivement employées dans les hauts fourneaux, parce que non-seulement elles fonctionnent plus régulièrement que tous les autres appareils, mais encore elles sont seules susceptibles de supporter les fortes pressions manométriques.

Digitized by Google

Les machines soufflantes en fonte (fig. 72, pl. 11, et 73, 74, pl. 12) consistent en un ou plusieurs cylindres en fonte alésée, dans lesquels se meut un piston également en fonte, avec garniture en cuir sur son pourtour.

Leurs dimensions et travail se calculent de la manière suivante pour un seul cylindre :

1° *Dimensions*. Appelons :

V, le volume d'air à 0m.76 à injecter dans le haut fourneau par seconde ;
v, la vitesse du piston ;
D, le diamètre du cylindre.

On a théoriquement :

$$V = 0.785\ D^2 v.$$

Mais, comme le piston laisse toujours passer un peu d'air par sa garniture et ne remplit pas exactement l'espace qui lui est affecté; comme, en outre, il y a, à chaque extrémité de la course, un espace nuisible provenant soit du jeu des soupapes, soit du jeu du piston même dans le cylindre où l'air se comprime sans passer dans les conduits, et se dilate ensuite au détriment de l'introduction de l'air neuf, on compte que le produit d'une machine soufflante n'est, en moyenne, que les 0m.75 du volume calculé. Il en résulte que la formule réelle servant à déterminer les dimensions est :

$$V = 0.75 \times 0.785\ D^2 v,$$

d'où

$$D^2 v = 1.7\,V. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Appelant :

C, la course du piston,
n, le nombre de coups doubles par minute,

on a :

$$v = \frac{2\,C \times n}{60},$$

d'où :

$$\frac{2\,D^2 C n}{60} = 1.7\,V$$

et

$$D^2 C n = 51\,V. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Si on fait $C = 1.2\,D$, ce qui est le cas le plus général, on obtient :

$$1.2\,D^3 n = 51\,V,$$

$$D^3 = 42.5\,\frac{V}{n}$$

et

$$D = 3.5\,\sqrt[3]{\frac{V}{n}}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

2° *Travail*. Appelant :

h, la pression manométrique en mercure, dont la densité est 13590,
$T_m$, le travail à produire en kilogrammètres par seconde.

On a, à très-peu près, c'est-à-dire sans tenir compte de la compression, sans refoulement, de l'air qui a lieu au commencement de la course :

$$T_m = 0.785\ D^2 v\, h \times 13590$$

et, en remplaçant $0.785\ D^2 v$ par $\frac{V}{0.75}$ :

$$T_m = 18.100\ V h. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4).$$

Digitized by Google

On distingue aujourd'hui deux genres de machines soufflantes, savoir :

1° Les machines à petite vitesse et à clapets (fig. 72, pl. 11, et 73, 74, pl. 12);
2° Les machines à grande vitesse et à tiroir (fig. 75, 76, 77, 78, pl. 13).

Les premières, presque exclusivement employées, depuis qu'on a renoncé aux autres appareils à vent intermittent, exigent un temps d'arrêt à la fin de chaque course, pour donner le temps aux clapets ouverts de se refermer, avant que le piston change de mouvement. Il en résulte que le vent qu'elles donnent quand il n'y a qu'un cylindre est très-intermittent et que, quand le soufflage doit être continu, ce qui est le cas des hauts fourneaux, il faut les accompagner de régulateurs d'autant plus considérables que la durée des intermittences est plus grande.

Les *secondes*, inaugurées, dans ces dernières années, par MM. *Thomas* et *Laurens*, avec un plein succès, n'exigent pas de temps d'arrêt à la fin de la course, puisque les orifices d'écoulement de l'air sont fermés et ouverts mécaniquement, et évitent complétement l'emploi des régulateurs, surtout si les conduits de l'air de la soufflerie aux tuyères sont volumineux. En outre, comme le nombre de coups de piston, dans un temps donné, est beaucoup plus considérable que dans le premier cas, les appareils peuvent être plus petits et conséquemment moins coûteux d'établissement.

La vitesse du piston, dans les machines à clapets, est généralement comprise, suivant les dimensions de l'appareil, entre $0^m.90$ et $1^m.20$ par seconde. Dans les machines à tiroirs, au contraire, elle peut être doublée sans inconvénient. Ces dernières machines s'usent, il est vrai, plus vite que les premières, mais c'est là une faible considération, quand on établit une usine, attendu que ce qu'il importe dans ce cas, c'est de dépenser le moins possible en frais d'établissement et de donner le plus tôt possible des bénéfices dussent-ils être un peu moindres.

Pour bien juger de la différence de revient des deux appareils dans une même circonstance, prenons un exemple et supposons qu'il s'agisse d'établir une soufflerie consommant 3 mètres cubes d'air à $0^m.76$ par seconde et l'injectant dans les tuyères à la pression de 15 centimètres de mercure.

Nous avons, d'après la formule (2) :

$$D^2 v = 1.7 \times 3^{m.c.} = 5.1.$$

Supposons : $v = 1^m.00$ pour machine à clapets,
$v = 3^m.00$ pour machine à tiroirs.

### 1° *Machine à clapets.*

Résolvant, par rapport à D, nous obtenons :

$$D^2 = \frac{5.1}{1^m} = 5.1$$

d'où : $D = 2^m.26$,

et pour $C = 1{,}2\,D$, $C = 2^m.712$,

$$n = \frac{42.5 \times 3}{D^2} = 11 \text{ coups doubles par minute.}$$

Puis : $T_m = 18{,}100 \times 3 \times 0^m.15$

$= 8{,}160$ kilogrammètres par seconde ou, théoriquement, en chevaux :

Digitized by Google

$$\frac{8{,}160}{75} = 109.$$

Pratiquement, en admettant que les frottements absorbent 40 pour 100 du travail transmis :

$$\frac{109}{0.60} = 182 \text{ chevaux.}$$

C'est donc une machine de 182 chevaux, à 1 mètre de vitesse par seconde, qu'il faut pour mouvoir l'appareil.

2° *Machines à tiroirs.*

$$D^2 = \frac{5.1}{3^m} = 1.70$$

$$D = 1^m.30.$$

$$C = 1.2 \times 1.30 = 1^m.56.$$

Nous pourrions faire C plus grand, par rapport à D, que dans le cas précédent ; mais alors il n'y aurait d'économie que sur le diamètre et non sur tout l'ensemble de l'appareil.

$$n = \frac{42.5 \times 3^{m}.00}{D^2} = 58 \text{ coups doubles par minute.}$$

Ainsi la première fait 182 chevaux à 11 tours par minute, tandis que la seconde les fait en 58 tours. Pour se rendre compte de l'économie dans l'acquisition de l'appareil, il suffit de poser :

$$58 \times x = 182 \times 11,$$

d'où : $$x = 35 \text{ chevaux environ,}$$

c'est-à-dire que, si les machines avaient même vitesse, l'une ferait 182 chevaux, pendant que l'autre n'en ferait que 35, soit 1/5 environ. C'est, en effet, la proportion qui existe, sinon entre les prix des appareils, du moins entre leurs importances relatives, au point de vue du constructeur. Il est vrai que, en mettant 3m.00 pour la vitesse du piston dans la machine à tiroirs, nous donnons à cette dernière une valeur maxima.

*Régulateurs.*

Les régulateurs sont des appareils destinés à détruire, sinon en totalité, du moins en partie, l'intermittence du coup de piston dans les machines soufflantes. Nous venons de voir qu'on peut les éviter en employant des machines à tiroir à grande vitesse; on les évite également en accouplant (fig. 73, 74, pl. 12) deux ou trois machines soufflantes sur un arbre à plusieurs coudes non situés dans le même plan. Mais cette disposition est coûteuse et nécessite l'entretien de plusieurs machines au lieu d'une seule.

On distingue plusieurs espèces de régulateurs, savoir :

Les régulateurs *à eau* (fig. 79, 80, pl. 14), les régulateurs *à piston* (fig. 81, 82), et les régulateurs *à capacité constante* (fig. 83).

Les régulateurs à eau consistent en une espèce de gazomètre plongeant dans un bassin et ayant, pour hauteur, au moins la hauteur d'eau qui représente la pression manométrique. Dans le cas de 0m.15 de mercure, par exemple, cette hauteur doit être, au *minimum*, de $\frac{15 \times 13{,}590}{1{,}000}$ = 2m.04.

Digitized by Google

Par suite de la pression intérieure de l'appareil, le niveau de l'eau s'abaisse intérieurement et s'élève extérieurement à chaque introduction d'air; le contraire a lieu à chaque temps d'arrêt, et, si on veut que la pression reste sensiblement constante, il faut que la capacité du régulateur soit très-grande. Il n'y a pas de données positives pour cette capacité, qui dépend et du temps d'arrêt du piston à la fin de chaque coup, et de l'espace nuisible qui retarde l'ouverture du clapet.

Les régulateurs à piston diffèrent théoriquement des régulateurs à eau, en ce que la pression reste constante dans l'appareil, soit que la soufflerie marche, soit qu'elle soit arrêtée. Pratiquement, il en est tout différemment; la pression reste, en effet, constante pendant que le piston monte ou descend; mais comme, à chaque arrêt et à chaque reprise de la soufflerie, le piston, lancé soit de haut en bas, soit de bas en haut, change de mouvement, il y a une intermittence très-marquée, moins forte que s'il n'y avait pas de régulateur, mais suffisante pour rendre l'utilité de cet appareil coûteux très-problématique.

Le régulateur à capacité constante, au contraire, quoique présentant les mêmes inconvénients que le régulateur à eau, a l'avantage d'être très-peu coûteux et de donner un vent presque régulier, quand ses dimensions sont suffisantes. Il consiste généralement en un long cylindre en tôle mince, placé soit verticalement, soit horizontalement, dans le voisinage des hauts fourneaux, percé, à ses deux extrémités, d'orifices, dont l'un communique avec la soufflerie et l'autre avec les tuyères. Quand cet appareil a une capacité égale à 30 fois environ celle de l'appareil soufflant, le vent est suffisamment régulier pour ne nuire en rien à la marche du haut fourneau.

A Decazeville (Aveyron), le régulateur (fig. 83) est sphérique; cette disposition est plus coûteuse que la précédente et n'est pas beaucoup plus avantageuse pour la régularité du vent, quand le régulateur cylindrique a un diamètre suffisant.

# TITRE V.

## DU CHAUFFAGE DE L'AIR.

Pour chauffer l'air à une haute température, ce qui conviendrait le mieux est la terre cuite. Quand la pression de l'air chaud est la même que celle de l'atmosphère, on emploie avec avantage, pour cette opération, les calorifères en poterie ou en briques; mais, quand la pression de l'air chaud est supérieure à celle de l'atmosphère, le peu de résistance des poteries et la mobilité des briques, sous l'influence de la dilatation, font qu'il est absolument impossible de pouvoir compter sur la terre cuite pour conserver la pression. Il faudrait, pour employer cette substance, que l'appareil à air chaud précédât la soufflerie, et que la soufflerie fût elle-même construite en une substance qui ne craignît pas la température, ce qui n'est pas.

Par suite de la difficulté de construire les appareils à air chaud en terre cuite, on est obligé de les faire en fonte, et, par conséquent, de ne pas chauffer l'air à plus de 300°, non pas que la fonte ne puisse supporter une plus haute température sans se détériorer, mais parce que, quand

Digitized by Google

on lui communique cette température, elle ne peut porter celle de l'air en mouvement, dans son intérieur, à plus de 300°.

De tous les appareils qui ont été employés pour le chauffage de l'air dans les hauts fourneaux, l'appareil *Calder* (fig. 84, 85, 86, pl. 14) est le plus répandu. Il consiste en deux tubes horizontaux *a a* en fonte, communiquant entre eux par une série de tubes recourbés *b b b*, de longueur variable et ayant chacun pour section la somme des sections des tubes *b*. Le tout est, comme l'indique la figure, enfermé dans un fourneau en briques et chauffé par la flamme d'un foyer généralement alimenté par de la houille à longue flamme. L'air froid arrive de la soufflerie par l'un des tuyaux *a* et se rend aux tuyères par l'autre tuyau. S'il est un appareil où le tirage par inspiration, c'est-à-dire le soufflage, puisse être avantageusement substitué au tirage par aspiration, c'est, sans contredit, celui-ci. En effet, le résultat du tirage par inspiration étant de laisser les gaz les plus chauds se rendre dans la région supérieure de l'appareil, on est certain, en plaçant l'orifice d'échappement dans le bas, que les gaz sortants affecteront la température *minima;* tandis que, si on opère le tirage par aspiration, les gaz sortant du foyer se dirigent directement à l'orifice d'échappement. Il faut, pour les conserver dans l'appareil, diminuer, autant que possible, le tirage par un registre; alors la combustion ne produit que de l'oxyde de carbone et n'utilise qu'une très-faible proportion du calorique contenu dans le combustible.

Depuis quelques années, MM. *Thomas* et *Laurens* ont substitué à l'appareil *Calder* un appareil qui a eu un plein succès et dont la disposition repose sur l'augmentation de surface de chauffe qui résulte de l'addition de petites proéminences métalliques venues à la fonte du côté en contact avec le gaz à chauffer.

Cet appareil (fig. 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, pl. 15) consiste en deux tubes concentriques A et B (fig. 92), placés tantôt horizontalement, tantôt verticalement, mais préférablement dans cette dernière position. L'espace annulaire existant entre ces tubes est le conduit au travers duquel circule l'air à chauffer. Des ailettes C (fig. 92, 94, 95), venues à la fonte, servent à maintenir l'écartement entre les tubes concentriques, et, comme nous l'avons dit plus haut, à augmenter la surface de chauffe du métal sans augmentation de volume de l'appareil. Cet appareil se place, comme l'indiquent les fig. 87, 88, 89, 90, 91, dans un fourneau en briques, et d'autant plus près des tuyères que son volume est moindre.

Pour un petit fourneau au charbon de bois un seul tube suffit, pour un grand fourneau au charbon de bois on met deux tubes, et enfin pour un haut fourneau au coke on met trois tubes. Le nombre des tubes dépend, du reste, de la quantité d'air à chauffer. Ces tubes sont chauffés soit par des grilles ordinaires, soit à flamme perdue du gueulard; dans les deux cas, comme les gaz brûlés sortent du fourneau à une température assez élevée, on utilise fréquemment leur chaleur perdue au chauffage des chaudières à vapeur.

Quand le chauffage a lieu à flamme perdue du gueulard, l'air arrive, comme pour les chaudières, par le tube D (fig. 87), et s'enflamme, au contact de l'air venant du dehors, dans l'espace E (fig. 87, 89). La température étant toujours très-élevée dans cet appareil, l'addition d'un foyer n'est pas nécessaire.

Digitized by Google

# TITRE VI.

## DU HAUT FOURNEAU.

---

On distingue dans le haut fourneau (fig. 96, 97, 98, 99, pl. 16) :

1° Les formes et dimensions intérieures de l'appareil;

2° Le mode de construction.

Les formes et dimensions intérieures, qui se déterminent généralement par expérience, dépendent de la nature du minerai à traiter et de l'espèce de combustible employé.

Le mode de construction dépend des matériaux dont on dispose et des conditions de sa stabilité auxquelles il faut satisfaire.

---

## CHAPITRE PREMIER.

### DES FORMES ET DIMENSIONS INTÉRIEURES DES HAUTS FOURNEAUX.

Il résulte de ce que nous avons dit (page 63 et suivantes) que le travail du haut fourneau se compose de trois périodes, savoir :

*Première période.* — Conversion du *minerai* en *acier spongieux.*

*Seconde période.* — Conversion de l'*acier spongieux* en *acier fondu.*

*Troisième période.* — Conversion de l'*acier fondu* en *fonte liquide.*

La première de ces opérations s'effectue dans la *cuve* A (fig. 96 et 98); la seconde, dans les *étalages* B, et la troisième dans l'*ouvrage* C.

Nous avons vu, en outre (page 89), que, sur trois parties de gaz provenant de la combustion du carbone et sortant au gueulard, il y a en moyenne :

| | Carbone. | Oxygène. |
|---|---|---|
| 1 partie acide carbonique représentant. . . . . | 0.273 | + 0.727 |
| 2 parties oxyde de carbone représentant. . . . . | 0.858 | + 1.142 |
| | 1.131 | + 1.869 |
| Total égal. . . . . | 3.000 | |

Or, si tout le carbone sortait à l'état d'acide carbonique, les 1.142 d'oxygène contenus dans l'oxyde de carbone ne satureraient que la moitié de 0.858 de carbone, soit 0.429, et la consommation totale pour 1.869 oxygène serait 1.131 — 0.429 = 0.702 carbone, au lieu de 1.131, c'est-à-dire les 0.625 de ce qu'elle est en réalité.

On peut donc dire que, sur 1,000 kilogr. de carbone *brûlé* dans le haut fourneau, il y en a



Digitized by Google

1,000 — 625 = 375 kilogr. brûlés en pure perte, soit, par rapport à la quantité totale employée A (page 90), une proportion qui varie entre 0.25 A et 0.33 A, moyenne 0.3 A.

Admettant, ce qui est loin d'être rigoureusement vrai, que la combustion dans l'ouvrage est normale et que tout l'oxygène apporté par les tuyères y est converti en acide carbonique, la valeur de A, quantité totale de carbone nécessaire à la conversion (page 89) de 136 kilogr. sesqui-oxyde en 100 de fonte à 5 pour 100 de carbone, se divise en :

1° 5 kilogr. pour saturer les 95 kilogr. fer réduit et former 100 kilogr. fonte;

2° 15 kilogr. 41 pour saturer les 41 kilogr. d'oxygène renfermés dans les 136 kilogr. de sesqui-oxyde et les convertir en acide carbonique;

3° 0.30 A, brûlés en pure perte;

4° $x$ brûlés par le vent des tuyères et convertis en acide carbonique.

On a l'équation :

$$A = 5 + 15.41 + 0.3\,A + x,$$

d'où :

$$x = 0.7\,A - 20.41.$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| Pour A = | 85 kilogr. carbone pur, | $x$ = | 39k.09 |
| — | 180 | — | 105k.59 |
| — | 280 | — | 175k.59 |

Au moyen de ces valeurs de $x$, on peut déterminer non-seulement la quantité de vent nécessaire, mais encore les dimensions intérieures du haut fourneau, sinon absolues, du moins relatives.

En effet, cette quantité $x$, jointe aux 5 kilogr. nécessaires à la saturation du métal, est intégralement consommée dans l'ouvrage et les étalages et convertie en acide carbonique; le reste est consommé dans la cuve. On peut donc, dès maintenant, former le tableau suivant :

1. *Tableau des consommations relatives de carbone dans les diverses parties du haut fourneau pour diverses consommations totales.*

| CARBONE TOTAL par 100 kilogr. de fonte produite. | ÉTALAGE ET OUVRAGE ou $x + 5$ kilogr. | CUVE ou 15.41 + 0.3 A. | RAPPORT DES CONSOMMATIONS. | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Étalage et ouvrage. | Cuve. |
| Kil. 85 | Kil. 44.09 | Kil. 40.91 | 1 | 0.93 |
| 180 | 110.59 | 69.41 | 1 | 0.63 |
| 280 | 180.59 | 99.41 | 1 | 0.55 |

Ce tableau indique que plus la quantité de carbone nécessaire à la production de la température est considérable, plus la proportion qui s'en consomme dans l'ouvrage et les étalages est elle-même forte, ce qu'on savait déjà du reste, et plus la proportionconsommée dans la cuve est faible.

Il résulte de là que les proportions de l'ouvrage et des étalages, par rapport à la cuve, doivent être d'autant plus grandes que la consommation totale, en carbone, est plus grande.

Adoptant, avec MM. *Flachat*, *Barrault* et *Petiet*, pour densités moyennes des combustibles :

| | Poids du mètre cube. |
|---|---|
| Charbon de bois à 5 pour 100 de cendres. . . . . | 210k.00 |
| Coke à 15 pour 100 de cendres . . . . . | 430k.00 |

Nous voyons, d'abord, que, pour des consommations égales, les volumes occupés par les com-

Digitized by Google

bustibles sont très-différents. Ainsi, en défalquant le poids des cendres, le mètre cube de charbon de bois représente 200 kilogr. de carbone, tandis que le mètre cube de coke en représente $430 - 0.15 \times 430 = 365^{k}.50$ de carbone. Il en résulte que, dans le haut fourneau, le volume affecté à 1 kilog. de carbone de bois doit être égal à $\frac{365.5}{200} = 1.827$, c'est-à-dire près de deux fois celui affecté à 1 kilogr. de carbone de coke; d'où résulte que, à consommations égales, en combustible, par 100 kilogr. de fonte produite et dimensions égales, deux hauts fourneaux marchant, l'un au charbon de bois, l'autre au coke, doivent produire, par 24 heures, des quantités de métal dans le rapport de 1 à 1.827;

De là le tableau suivant :

7. *Tableau des volumes occupés par le carbone par 100 kilogr. de fonte produite, dans les diverses parties du haut fourneau, pour différentes consommations totales et différents combustibles.*

| CARBONE TOTAL par 100 kilos de fonte produite. | VOLUME TOTAL | | VOLUME RÉPARTI. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | CHARBON DE BOIS. | | COKE. | |
| | en charbon de bois. | en coke. | Ouvrage et étalage. | Cuve. | Ouvrage et étalage. | Cuve. |
| Kil. | m. c. | m. c. | m. c. | m. c. | m. c. | m. c. |
| 85 | 0.425 | 0.233 | 0.220 | 0 205 | 0.121 | 0.112 |
| 180 | 0.900 | 0.494 | 0.550 | 0.350 | 0.300 | 0.194 |
| 280 | 1.400 | 0.768 | 0.900 | 0.500 | 0.494 | 0.274 |

Pour pousser plus loin ce travail, il faut faire des hypothèses sur les différents volumes occupés par les matières premières, avant et après la réduction. Or, ce qui vaut mieux que des hypothèses, c'est la constatation des faits, quand elle est possible. Les ouvrages de *Walter de Saint-Ange*, *Flachat*, *Barrault* et *Petiet* et autres contiennent de nombreux exemples de hauts fourneaux au charbon de bois et au coke, d'où il nous sera possible d'extraire des données certaines pour la détermination des dimensions intérieures, eu égard à la nature du minerai et du combustible.

En premier lieu, nous voyons, dans *Flachat*, *Barrault* et *Petiet*, qu'en *Toscane* les étalages et l'ouvrage ne font qu'une seule et même capacité dont le volume est égal aux 0,66 de celui de la cuve.

Or, là, les minerais sont fusibles et très-facilement réductibles; ils rendent environ 60 pour 100 et n'exigent que 100 kilogr. de charbon de bois par 100 kilogr. de fonte produite.

Nous avons trouvé (tableau n° 2) pour volumes relatifs du charbon, correspondant à une consommation de 85 kilogr., les nombres :

Étalages et ouvrage. . . . . 220 ou 1.00,
Cuve. . . . . 205 ou 0.93, au lieu des 0.66 indiqués plus haut.

Dans le *Staffordshire*, au contraire, on consomme 200 kilogr. de coke par 100 kilogr. de fonte produite; les volumes réunis de l'ouvrage et des étalages sont les 0.33 du volume de la cuve.

Nous avons trouvé (tableau n° 2), pour volumes relatifs du coke, la consommation étant de 180 kilogr., les nombres :

Ouvrage et étalages. . . . . 300 1.00.
Cuve. . . . . 194 0.63.

Digitized by Google

Ainsi, le volume de l'ouvrage et des étalages, au lieu d'augmenter, par rapport à celui de la cuve, avec la consommation du combustible, diminue au contraire.

Faut-il conclure de là que les chiffres du tableau n° 2 sont faux ? Ce n'est pas notre avis. Pour nous ce résultat indique uniquement que la fusion de l'acier, dans les fourneaux du *Staffordshire*, commence à s'opérer bien au-dessus de la ligne donnée comme ventre de l'appareil.

Ce qu'il est, du reste, intéressant de déterminer, c'est s'il y a plus d'avantage à augmenter le volume de la cuve, par rapport au volume total, qu'à le diminuer.

Or, quand on augmente le volume de la cuve par rapport au volume total, ce qui ne peut avoir lieu qu'en hauteur, comme nous le verrons plus loin, on utilise une partie du calorique contenu dans les gaz au chauffage des matières premières et à l'évaporation de l'eau. Ce serait une erreur de croire que, dans ce cas, il y a plus d'acide carbonique décomposé, parce que cette décomposition ne peut avoir lieu qu'au rouge-cerise.

D'un autre côté, quand on augmente la hauteur de la cuve, on augmente en même temps la charge sur les matières en fusion dans les étalages et on s'expose à obstruer le passage des gaz sinon sur toute la section du ventre, du moins dans une partie, ce qui est toujours un cas dangereux, surtout s'il se renouvelle fréquemment.

La hauteur de la cuve dépend donc complétement du plus ou moins de friabilité du combustible et de fusibilité des minerais ; elle peut donc être considérée comme indépendante des rapports qui doivent exister entre les volumes de la cuve d'une part, et des étalages et de l'ouvrage d'autre part.

Mais, d'un autre côté, l'inclinaison des étalages n'est pas arbitraire et dépend de la hauteur que l'on est obligé de donner à ces derniers, suivant la fusibilité du minerai et la friabilité du combustible.

Beaucoup de métallurgistes assignent à tort, à notre avis, un rôle à l'inclinaison des étalages ; si elle en avait un, il serait contraire à celui qu'on lui suppose. Ainsi on dit que, pour minerais réfractaires et charbons durs, il faut des étalages inclinés, tandis que, pour minerais fusibles et charbons tendres, il faut des étalages peu inclinés. La vérité est que la hauteur des étalages doit être en raison inverse de la fusibilité des minerais, si on veut que l'acier arrive à l'ouvrage intégralement fondu. Ce n'est que dans le cas de minerais très-fusibles, comme ceux de l'île d'Elbe, qu'emploient les fourneaux de la Toscane, que les étalages peuvent se confondre avec l'ouvrage et constituer, pour ainsi dire, un vaste ouvrage, sans étalages. Si l'inclinaison jouait un rôle, les fourneaux précités devraient ne traiter que des *minerais très-réfractaires* et des *charbons très-durs*, car elle est, chez eux, de 77°, tandis que, d'après M. *Walter de Saint-Ange*, elle ne doit pas dépasser 66° pour des minerais et charbons de ces natures.

En résumé, les hauteurs de la cuve d'une part et des étalages d'autre part dépendant des natures du minerai et du combustible employés, les volumes relatifs de ces capacités ne peuvent être mis en rapport avec les consommations relatives de combustible que par les diamètres, et, si on ne peut y arriver de cette manière, le plan horizontal dit *ventre*, où le minerai, converti intégralement en acier spongieux, commence à fondre, peut se trouver soit au-dessus, soit au-dessous du plan qui, dans la figure de l'appareil, est considéré comme en remplissant les fonctions. Ce fait explique pourquoi, depuis vingt-cinq ans environ, on surmonte les étalages d'une capacité cylindrique appelée *ventre cylindrique ;* cette capacité, rationnelle en principe, n'est, à proprement parler, qu'un prolongement des étalages destiné à donner à ces derniers la capacité qu'ils comportent, eu égard à leur consommation de combustible. Il est évident, en effet, que, si la fusion commence à une tranche de la cuve située de beaucoup au-dessus du ventre de figure, comme le volume des matières commence à diminuer, il convient que celui de la capacité, sinon

Digitized by Google

diminue, du moins n'augmente pas. Le *ventre cylindrique* remplit parfaitement ce but. Il importe donc, pour bien se rendre compte de la hauteur qu'il convient de lui donner, de le considérer non comme une dépendance de la cuve, mais comme une dépendance des étalages.

Ces points établis, nous allons passer successivement en revue les différentes parties jouant un rôle dans le travail du haut fourneau.

1° *Section horizontale.* La section horizontale d'un haut fourneau peut-elle être quelconque? Pour répondre à cette question, il suffit de remarquer que l'enveloppe, quelque mauvaise conductrice qu'elle soit, étant comprise entre de l'air à 10° en moyenne et l'intérieur de l'appareil en ignition, est une cause continuelle de refroidissement, et que la température est d'autant plus élevée dans une même tranche horizontale, que les points qui l'affectent sont plus éloignés de l'enveloppe. Le lieu *géométrique* des températures *maxima* est donc la ligne ou la surface verticale, courbe ou plane, dont tous les points sont, pour chaque tranche horizontale, également distants de la surface-enveloppe.

Comme il importe d'avoir le plus d'égalité possible entre les températures de chaque tranche pour que la *descente des charges* soit régulière, nous voyons déjà que la section circulaire est préférable à la section carrée. Dans ce cas, la surface intérieure du haut fourneau est une *surface de révolution*, et le *lieu géométrique* des températures *maxima* de chaque tranche est l'axe même de cette surface. La descente des charges commence donc par le centre de chaque tranche et finit par la circonférence; de plus, le vide conique qui se forme est d'autant moins prononcé que :

1° Le diamètre est plus petit;

2° L'enveloppe perd moins de calorique.

Mais la section circulaire n'est pas la seule théoriquement possible, et il y aurait lieu, dans certains cas, d'étudier s'il ne conviendrait pas mieux d'adopter la suivante que de trop augmenter les diamètres intérieurs ou le nombre des hauts fourneaux. En effet, la section rectangulaire, terminée par deux demi-cercles, est dans les mêmes conditions, pour les températures, que la surface circulaire; la surface annulaire, également; seulement, pour la première, le *lieu géométrique des températures maxima* est un *plan vertical*, et, pour la seconde, il est un *cylindre*.

Nous n'insisterons pas plus longtemps sur ces deux dernières dispositions, parce qu'elles sont inusitées; nous les indiquons seulement parce qu'elles peuvent, un jour, avoir leur application.

2° *Du ventre.* L'expérience a conduit à considérer la section du ventre comme la surface de la production journalière, sinon effective, du moins possible. C'est, en effet, au ventre que commence la fusion de l'acier spongieux et où la descente des charges est encore régulière; au-dessous, la fusion produit des vides qui rendent moins exacte l'appréciation de la production d'après la section.

La consommation totale en charbon de bois ou coke, par mètre carré de section au ventre et par heure, varie, suivant le vent, entre 50 et 100 kilogr.

D'après M. *Walter de Saint-Ange*, on peut, en donnant 10 à 12 mètres cubes de vent par mètre carré de section au ventre et par minute, consommer de 80 à 100 kilogr. de combustible par heure.

D'après MM. *Flachat, Barrault* et *Petiet* (tome I^er^, page 229, et pl. 6, fig. 1, 2, 3), la consommation pourrait aller au delà. En effet, les fourneaux de la *Toscane*, produisant de 9 à 13 tonnes par 24 heures, avec un diamètre moyen, au ventre, de 2^m^.024 et une consommation de 100 kilogr. de charbon de bois par 100 kilog. de fonte, représentent :

Section au ventre, 3^mq^.20.

Digitized by Google

Production moyenne en fonte par heure et par mètre carré de section au ventre $\frac{11000}{24 + 3.20}$ = 143 kilogr.

Consommation totale en charbon pour les mêmes, 143 kilogr.

Il est vrai que les hauts fourneaux de la Toscane sont dans des conditions tout à fait exceptionnelles sous le rapport du minerai qui provient de l'île d'Elbe et est, à la fois, riche, fusible et très-facilement réductible.

D'un autre côté, ayant démontré (page 146) que, sur 85 kilogr., 180 kilogr. et 280 kilogr. carbone *consommé*, les quantités *brûlées* sont 39k.09, 105k.59, 175k.59, il nous paraît difficile d'admettre une quantité fixe, ou à peu près fixe, d'air par kilogr. de carbone *consommé*, comme l'admettent les auteurs précités. En effet, 9 mètres cubes (page 36) étant la quantité d'air nécessaire à la combustion intégrale d'un kilogr. de carbone, et tout l'oxygène qui entre dans le haut fourneau étant consommé, on en conclut que :

1° Les quantités d'air nécessaires à la production de la température varient, pour chaque kilogr. de carbone consommé, suivant la consommation totale de ce dernier, par 100 kilogr. de fonte produite ;

2° Si réellement il est possible d'injecter 10 mètres cubes de vent par mètre carré de section au ventre et par minute, la quantité de carbone brûlée par heure doit être de $\frac{10 \times 60}{9} = 66^{k}.66$ correspondant aux quantités totales consommées suivantes, savoir :

*Tableau des consommations totales de carbone par heure et par mètre carré de section au ventre pour diverses consommations par 100 kilogrammes de fonte produite.*

| CARBONE TOTAL par 100 kilogr. de fonte produite. | CARBONE BRULÉ par 100 kilogr. de fonte produite. | CARBONE TOTAL consommé par heure et par mètre carré de section au ventre. |
|---|---|---|
| KIL. 85 | Kil. 39.09 | 39.09 : 85 : : 66.66 : $x$ = 145 kilogr. |
| 180 | 105.59 | 105.59 : 180 : : 66.66 : $x$ = 113 |
| 280 | 175.59 | 175.59 : 280 : : 66.66 : $x$ = 107 |

Les trois nombres 145, 113 et 107, donnés par ce tableau, dépassent de beaucoup la limite supérieure fixée par M. *Walter de Saint-Ange* et admise par MM. *Flachat*, *Barrault* et *Petiet*. Le chiffre de 10 mètres cubes de vent par minute et par mètre carré de section au ventre ne peut donc être admis qu'autant qu'une partie de l'oxygène introduit par les tuyères ne serait pas consommée. Mais comment concilier cette hypothèse avec les analyses faites sur les gaz sortant du gueulard par M. *Ebelmen*, qui n'en accusent pas ?

Ne perdons pas de vue, néanmoins, que les hauts fourneaux de la Toscane fonctionnent dans l'une des trois conditions ci-dessus, ce qui démontre que le fait est possible ; seulement, là comme ailleurs, on suppose probablement une quantité de vent consommée supérieure à celle qui l'est réellement.

De même que nous avons considéré trois cas de consommation de carbone par 100 kilogr. de fonte produite, de même aussi nous allons considérer trois cas de consommation d'air par minute et par mètre carré de section au ventre, ce qui, multiplié par les trois cas précités, fait neuf productions différentes de fonte par heure et par mètre carré de section au ventre.

Digitized by Google

Ces trois cas seront :

5, 7.5 et 10 mètres cubes d'air par minute et par mètre carré de section au ventre.

Les quantités du carbone *brûlé* sont alors, par heure et par mètre carré de section au ventre, à raison de 1 kilogr. par 9 mètres cubes d'air injecté :

1° à 5 mètres cubes par minute. . . $\frac{5 \times 60'}{9} = 33^k.33$

à 7.5. . . . . $\frac{7.5 \times 60'}{9} = 50^k.00$

à 10. . . . . $\frac{10 \times 60'}{9} = 66^k.66$

D'où le tableau suivant :

*Tableau des productions en fonte, par heure et par mètre carré de section au ventre, pour diverses consommations totales en carbone par 100 kilogr. de fonte et diverses quantités de vent par minute et par mètre carré de section au ventre.*

| CONSOMMATIONS TOTALES en carbone par 100 kilogr. de fonte produite. | CARBONE BRULÉ par 100 kilogr. de fonte produite. | CARBONE BRULÉ par heure et par mètre carré de section au ventre. | QUANTITÉ DE FONTE PRODUITE par heure et par mètre carré de section au ventre. |
|---|---|---|---|
| Kil. | Kil. | Kil. | |
| 85 | 30.09 | 33.33 | 39.09 : 100 : : 33.33 : $x$ = 85 kil. |
| *Id.* | *Id.* | 50.00 | 50.00 : $x$ = 128 |
| *Id.* | *Id.* | 66.66 | 66.66 : $x$ = 170 |
| 180 | 105.59 | 33.33 | 105.59 : 100 : : 33.33 : $x$ = 32 |
| *Id.* | *Id.* | 50.00 | 50.00 : $x$ = 47 |
| *Id.* | *Id.* | 66.66 | 66.66 : $x$ = 62 |
| 280 | 175.59 | 33.33 | 175.59 : 100 : : 33.33 : $x$ = 19 |
| *Id.* | *Id.* | 50.00 | 50.00 : $x$ = 29 |
| *Id.* | *Id.* | 66.66 | 66.66 : $x$ = 38 |

Il résulte de ce tableau que, suivant la quantité de vent injectée par minute dans l'appareil et suivant la quantité de carbone nécessaire à la réaction, le produit en fonte peut varier de 19 à 170 kilogr. par heure et par mètre carré de section au ventre.

Dans le premier cas, la consommation en carbone est de 280 kilogr. par 100 kilogr. de fonte produite, c'est-à-dire triple de ce qu'elle est dans le second, et il faut un appareil sept fois aussi grand que dans le second cas pour produire la même quantité dans le même temps.

Il est facile, d'après cela, de se rendre compte de la différence qui existe, sous le rapport des bénéfices à réaliser, entre les minerais *riches* et *fusibles*, d'une part, et les minerais *pauvres* et *réfractaires*, d'autre part.

Dans tout ce que nous venons de dire, il n'a été question que de carbone et non de charbon de bois ou de coke ; la question à poser en ce moment est la suivante : 100 kilogr. de coke occupant moitié moins de volume que 100 kilogr. de charbon de bois, la section au ventre doit-elle varier dans le rapport des densités de ces combustibles?

Or, si nous nous en rapportons aux données de l'expérience, les consommations en coke par

Digitized by Google

heure et par mètre carré de section au ventre non-seulement ne seraient pas plus grandes, quoique occupant un volume moitié moindre que le charbon de bois, mais, au contraire, seraient plus petites. Il n'y a donc pas lieu de faire intervenir la densité du combustible dans la détermination du diamètre, au ventre, des hauts fourneaux.

La dernière question à poser est la suivante :

Dans le cas de l'établissement d'un haut fourneau, quelle consommation d'air par minute et par mètre carré de section au ventre faut-il supposer, 5, 7.5 ou 10 mètres cubes?

Si on suppose 10 mètres cubes, on aura plus souvent 7.5 que 10; mais, dans le cas où on voudrait augmenter la production, on ne le pourrait pas, 10 mètres cubes étant, à notre avis, une limite supérieure. Si on suppose 5 mètres cubes, on pourra, au besoin, augmenter facilement la production; mais l'appareil, étant plus considérable, sera plus coûteux. Nous pensons que le chiffre le plus convenable à adopter, dans ce cas, est $7^{m.c}.5$ correspondant à :

| | | |
|---|---|---|
| Carbone brûlé par heure et par mètre carré de section au ventre. . . | | 50 kilogr. |
| Production en fonte par heure et par mètre carré de section au ventre, | | |
| à 85 carbone | pour 100, fonte. . . . . | 128 |
| 180 | id. . . . . | 47 |
| 280 | id. . . . . | 29 |

Exemple. — Soit à établir un haut fourneau produisant 15,000 kilogr. de fonte par 24 heures, en minerai moyennement fusible; on demande le diamètre au ventre, et les consommations en carbone et vent.

On a :

1° $\frac{15,000}{24} = 625$ kilogr. de fonte par heure.

2° Pour minerai moyennement fusible :

| | |
|---|---|
| Consommation totale en carbone. . . . . | $180^{k}.00$ |
| Carbone brûlé. . . . . | $105^{k}.59$ |

par 100 kilogr. fonte produite.

3° Fonte produite par mètre carré de section au ventre et par heure, à $7^{m.c}.5$ de vent par minute ou à 50 kilogr. de carbone brûlé par mètre carré de section au ventre. . 47 kilogr.

La section au ventre sera donc :

$$\frac{625}{47.00} = 13^{m.q}.3$$

$$\text{Son diamètre } D = 4^{m}.12.$$

Le carbone total consommé par heure sera $6.25 \times 180 = 1,130$ kilogr.

La quantité de carbone brûlée sera $6.25 \times 105.59 = 660$ kilogr.

Et la quantité d'air lancée par minute sera $13.3 \times 7.5 = 100$ mètres cubes.

3° *De la hauteur du ventre au-dessus du sol.* — La hauteur du ventre au-dessus du sol varie suivant les hauteurs de l'ouvrage et des étalages, qui elles-mêmes dépendent de la nature des minerais. Quand les minerais sont réfractaires et le combustible dense, elle peut atteindre le tiers de la hauteur totale; quand, au contraire, les minerais sont fusibles et les charbons tendres, elle ne dépasse généralement pas le quart de la hauteur totale.

4° *De la cuve.* — Nous avons donné plus haut le moyen de déterminer le diamètre au ventre, c'est-à-dire à la partie inférieure de la cuve; nous avons aussi traité la question du gueulard; il ne nous reste donc plus à parler que de la hauteur de la cuve.

Digitized by Google

La hauteur de la cuve doit être telle que les gaz sortant au gueulard ne soient ni trop chauds ni trop froids, mais à une température de 200° environ, afin que, d'une part, il y ait utilisation de la chaleur, qu'ils contiennent, au chauffage du minerai introduit et à la vaporisation de l'eau qu'il renferme; d'autre part, il n'y ait pas une trop grande différence entre les températures de la couche supérieure et des matières froides que l'on projette dessus.

Or, comme la hauteur du ventre varie entre 1/3 et 1/4 de la hauteur totale, 1/3 pour les minerais réfractaires et 1/4 pour les minerais fusibles, il s'ensuit que celle de la cuve est limitée à 2/3 de la hauteur pour les minerais réfractaires, et à 3/4 pour les minerais fusibles.

5° *De l'ouvrage et des étalages.* — Nous mettons ensemble ces deux parties de l'appareil, parce qu'elles nous paraissent inséparables; les étalages, comme nous l'avons déjà observé, ne sont, la hauteur du ventre une fois donnée, autre chose que le raccordement entre l'ouvrage et la cuve.

En ce qui concerne l'ouvrage, sa section inférieure dépend entièrement de la largeur du *creuset*, qui en est le côté. Or les dimensions du creuset sont liées entre elles par les relations suivantes, nécessaires tant pour les convenances du travail que pour les exigences de la construction :

| | |
|---|---|
| Hauteur. . . . . | 1.0 |
| Largeur. . . . . | 1.2 |
| Longueur. . . . . | 3.333 |

Ce qui donne pour capacité 4, c'est-à-dire quatre fois le cube de sa hauteur. Il en résulte que la production en fonte, par 24 heures, étant donnée, les dimensions du creuset et la section inférieure de l'ouvrage le sont aussi, étant admis que le creuset doit pouvoir contenir le travail de 24 heures.

Ainsi, pour une production journalière de 10,000 kilogr., la densité de la fonte liquide étant 7,000, on a, pour la capacité du creuset :

$$4\ h^3 = \frac{10{,}000}{7{,}000} = 1^{m.c}.430$$

$$\text{d'où } h = \sqrt[3]{\frac{1.43}{4}} = 0^m.71$$

$$l = 1.2 \times 0.71 = 2^m.852$$

$$L = 3.33 \times 0.71 = 2^m.36$$

La hauteur de l'ouvrage dépend, avons-nous dit, du plus ou moins de saturation que l'on veut donner à la fonte. La largeur étant 1, cette hauteur ne peut être moindre que 1 et peut atteindre 3; en moyenne, elle est égale à trois fois la hauteur du creuset.

L'ouvrage n'est pas prismatique, mais pyramidal, à base renversée; cette disposition a principalement pour but d'empêcher la formation des chambres, qui, dans l'écoulement des liquides, sont la conséquence de la *contraction de la veine fluide*.

L'évasement qu'on donne à l'ouvrage, sans être aussi considérable que celui nécessaire dans le cas précédent, doit dépendre de la facilité avec laquelle les matières descendent. Plus ces dernières sont fluides, plus l'évasement doit être faible, parce qu'elles tendent à obstruer le passage de l'air au travers du combustible; plus elles sont visqueuses au contraire, plus il convient de favoriser leur descente des étalages dans l'ouvrage.

6° *De la hauteur totale.* — Si on suppose les hauteurs de l'ouvrage et des étalages comme égales entre elles, en moyenne, on obtient pour hauteur totale du haut fourneau, d'après ce que nous avons dit :



Digitized by Google

| | |
|---|---|
| 1° Hauteur du creuset. . . . . | 1.00 |
| 2° Hauteur de l'ouvrage. . . . . | 3.00 |
| 3° Hauteur des étalages. . . . . | 3.00 |
| Total. . . . . | 7.00 |

chiffre qui, suivant qu'il forme le tiers ou le quart de la hauteur totale, donne pour hauteur de la cuve :

| | | |
|---|---|---|
| 4° | à 2/3 de la hauteur totale. . . . . | 14.00 |
| | à 3/4 *id.* . . . . . | 21.00 |

D'où résulte que la hauteur totale varie entre 7 + 14 = 21 et 7 + 21 = 28 fois la hauteur du creuset. Néanmoins il convient de dire que, pour les minerais fusibles et parfaitement réductibles, cette hauteur est souvent inférieure à 21, et peut descendre jusqu'à 16. Dans ce cas, la hauteur de l'ouvrage et des étalages est moindre que 6.

Comme exemples des diverses proportions que peuvent affecter les parties intérieures d'un haut fourneau, suivant les natures du minerai et du combustible employé, nous donnons (pl. 17) divers profils de hauts fourneaux marchant, savoir :

Fig. 100, 101, 102, profils de hauts fourneaux au charbon de bois; fig. 103, profil de haut fourneau au charbon de bois et au coke mélangés; fig. 104, 105, 106, 107, profils de hauts fourneaux au coke.

---

## CHAPITRE II.

### DE LA CONSTRUCTION DU HAUT FOURNEAU.

Pour construire un haut fourneau, il convient, d'abord, de bien choisir l'emplacemement, tant sous le rapport des frais de transport, soit pour l'arrivage des matières premières, soit pour l'écoulement des produits, que sous celui du service intérieur de l'usine.

1,000 kilogr. de fonte produite consommant, en moyenne :

| | |
|---|---|
| Minerai. . . . . | 3,000 kilogr. |
| Combustible. . . . . | 2,000 |
| Fondants. . . . . | 1,000 |
| Total . . . . . | 6,000 kilogr. |

On comprend qu'il importe, avant tout, de se placer le plus près possible des matières premières ou, tout au moins, dans une localité où ces dernières arrivent à peu de frais.

En second lieu, les diverses conditions locales auxquelles on doit, autant que possible, chercher à satisfaire pour l'établissement d'une usine de hauts fourneaux sont les suivantes :

1° Être adossé à une montagne dont la hauteur soit au moins égale à celle des hauts fourneaux, donnant peu de déblais et de remblais à effectuer pour l'établissement de ces derniers.

2° Avoir de l'eau à proximité de l'usine, et pouvant arriver sans de trop grands frais à la pompe de la machine à vapeur.

3° Avoir un sol de la fonderie assez élevé dans la vallée pour n'avoir pas à craindre les inondations jusqu'à 3 mètres au-dessous de la sole des creusets.

4° Être sur un terrain assez solide pour ne pas nécessiter de grandes fondations; pour cela éviter, autant que possible, les fondations dans l'argile.

5° Les matériaux spéciaux pour la construction des usines étant :

Digitized by Google

1° La pierre calcaire (taillée ou moellonnée),
2° La brique (tendre et réfractaire),
3° La chaux (aérienne et hydraulique),
4° Le sable ;

Rechercher, pour faire les déblais, les portions de montagnes où se rencontrent plus particulièrement ces substances, moins l'argile, qui ne s'y trouve, du reste, que rarement et en couches minces ; et se rapprocher de la portion de la vallée où se trouve l'argile, condition qui se remplit assez naturellement quand les eaux se trouvent en bas.

5° Préférer l'exposition du midi à celle du nord, pour faciliter le séchage des maçonneries et pouvoir les pousser plus avant pendant l'hiver.

Comme on le voit, le choix de l'emplacement et celui du terrain d'une usine de hauts fourneaux n'est pas chose si facile qu'on pourrait le croire au premier abord, et leur importance est telle à notre avis, qu'il nous paraît superflu d'avoir égard au prix d'achat du terrain, quand il convient, considération que mettent généralement en première ligne les personnes peu au fait de cette industrie, et dont les conséquences sont si graves par la suite.

Nous avons gardé le silence sur l'avantage que présente le voisinage de nombreuses voies de communication, cette partie rentrant dans la question des transports. Nous avons aussi passé outre sur les moyens de procurer les vivres à bon marché aux ouvriers, ce qui nécessite le voisinage des villages, parce que cette question est tout à fait secondaire, de sorte que c'est un avantage de plus quand le cas se présente, mais il ne doit faire négliger aucun des autres sus-mentionnés.

### Organisation du travail pour la construction de l'usine.

Soit proposé d'établir une usine de deux hauts fourneaux au coke, pouvant produire chacun 7,500 kilogr. de fonte grise par jour, soufflés à l'air froid avec des minerais moyennement réfractaires et des cokes moyennement durs.

Ce cas, qui est celui le plus général, se résout ainsi :

Un haut fourneau donnant 7,500 kilogr. de fonte par jour a une hauteur de 15 mètres et une largeur carrée à sa base de 12 mètres environ. Le nombre convenable des maçons que l'on doit mettre par fourneau pour faire le massif extérieur est de deux par pilier d'embrasure ; un de première classe pour faire le parement extérieur, un de seconde classe pour faire les remplissages intérieurs. Deux maçons par pilier d'embrasure font huit maçons par masse, consommant en moyenne, par jour, chacun 750 briques de $0^m.20$ de long sur $0^m.10$ de large et $0^m.075$ d'épaisseur, correspondant, par conséquent, à 6,000 briques par jour et par masse. On monte, en moyenne, de $0^m.20$ par jour ; il en résulte que la durée de la construction extérieure est de $\frac{15}{0.2} =$ 75 jours ou 3 mois, et la consommation en briques ordinaires $6,000 \times 75 = 450,000$ pour une seule masse.

Plus tôt on aura fini les constructions extérieures, plus tôt on pourra commencer celles intérieures, plus le fourneau aura le temps de se sécher à la chaleur naturelle de la saison avant l'hiver. Or il n'est guère possible de commencer avec sûreté des constructions importantes avant le 1er avril ; il suit de là que les maçonneries extérieures pourront être terminées au 1er juillet ; comme il faut trois mois pour la pose de la cheminée intérieure, des étalages et du creuset, on aura fini le 1er octobre.

Pour commencer la construction des masses le 1er avril, il faut avoir des briques de l'année précédente ; car précisément la fabrication de ces matériaux n'a lieu économique-

Digitized by Google

ment que pendant les six mêmes mois d'été que l'on consacre aux constructions en général.

Quelque promptitude qu'apportent les briquetiers dans leur travail, il ne faut pas compter pouvoir disposer d'une meule de briques de l'année courante avant le 15 mai; les maçons devront donc être alimentés pendant quarante jours par des briques de l'année précédente. 40 jours à 6,000 briques font 240,000 briques par masse que l'on devra avoir d'avance. Outre ces 240,000 briques pour chaque masse, il en faut encore pour les cheminées des maisons d'habitation que l'on construit en même temps, et les fours à coke. En évaluant à 60,000 l'approvisionnement nécessaire pour les maçons en pierre, nous aurons suffisamment. Pour les fours à coke nous dirons : chaque haut fourneau correspond à 18 fours à coke que l'on peut réunir tous ensemble ou grouper 6 par 6. Dans ce second cas, comme dans le premier, on compte qu'il faut 100,000 briques par groupe, et que la durée de la construction d'un groupe est de 40 jours. Comme il y a six mois pour construire les 18 fours à coke d'un fourneau, il sera suffisant de n'en construire qu'un groupe pendant les 40 premiers jours, et l'approvisionnement en briques pour les fours à coke sera de 100,000 par masse.

Récapitulant, nous trouvons que l'approvisionnement en briques ordinaires est :

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1° | Pour les deux masses. . . . . | 480,000 | briques. |
| 2° | — fours à coke. . . . . | 200,000 | |
| 3° | — divers. . . . . | 60,000 | |
| | Total. . . . . | 740,000 | |

Puisqu'il faut six semaines ou quarante jours au moins pour faire une meule de briques prêtes à employer, quelque petite que soit la meule, et que pendant six semaines il se consomme 740,000 briques, ce qui correspond à 440,000 par mois environ, il faudra un nombre de tables de briquetiers susceptible d'arriver à ce chiffre. Or une table de briquetier peut fournir en moyenne par mois 40,000 briques; $\frac{440,000}{40,000} = 11$ tables. Comme l'approvisionnement est de 740,000 briques, les briquetiers devront entrer en besogne $\frac{740,000}{440,000}$ = deux mois environ avant la fin de la saison de l'année précédente, c'est-à-dire le 1er août. Ajoutant un mois pour l'extraction de la terre à briques, qui est d'autant meilleure qu'elle a été tirée plus tôt, quelle que soit l'époque à laquelle les hauts fourneaux auront été votés, les travaux ne commenceront réellement que le 1er juillet; tout le temps avant cette époque aura dû être consacré à la recherche d'un emplacement et d'un terrain convenables.

On pourrait objecter qu'en s'y prenant plus tôt on pourra faire les constructions accessoires et être plus en mesure d'avoir fini l'année suivante. Nous répondrons à cela que cette circonstance ne doit avoir lieu que si les ouvriers sont rares et sont les mêmes pour les constructions en pierres que pour les constructions en briques; dans tous les autres cas, il est inutile de commencer les travaux de maçonnerie ou de terrassement avant le 1er août.

Cela posé, pendant que d'une part les briquetiers fabriquent pour l'année suivante, on trace sur le terrain la disposition de l'usine et met les terrassiers. Jusqu'au 15 septembre, ces derniers sont assez difficiles à trouver, parce qu'ils constituent, en général, des manœuvres que l'on emploie en agriculture à faire la moisson; mais, à partir de cette époque, on peut en avoir autant que l'on veut.

Comme les travaux de terrassement sont très-variables, et qu'il est très-incommode de démontrer quelquefois à cent ouvriers séparément la besogne qu'ils ont à faire, il est utile de les diviser en chantiers de quatre hommes :

Digitized by Google

2 peleurs et brouetteurs alternativement;
2 terrassiers, dont 1 chef.

Le chef gagnant seulement 10 centimes de plus que les autres par jour. Chaque chantier a deux pioches, deux pelles et deux brouettes dont il répond, et toutes les fois que les relais dépassent 10, 15 ou 20 mètres, suivant le terrain, on lui adjoint un nombre suffisant de brouetteurs formant une classe à part à l'usage de tous les chantiers. Quand les transports se font à la voiture, ce qui a lieu toutes les fois que les relais un peu longs le permettent, les deux peleurs et brouetteurs du chantier servent à charger avec le conducteur du cheval, qui a sa pelle. Dans un pays où les manœuvres se payent 1 fr. 75 c. pour 10 heures de travail, le tombereau coûte 5 fr., conducteur compris pour le même temps. Il faut deux tombereaux, dont 10 fr. par jour correspondant à six hommes, c'est-à-dire cinq en sus du brouetteur du chantier.

Il est bon, toutes les fois qu'on le peut, de faire exécuter les terrassements à l'entreprise. Ce cas se présente le plus souvent pour l'extraction de la terre à briques, parce qu'alors le terrain est homogène. L'extraction de la terre à briques est le genre de terrassements le moins coûteux. Avec transport d'un relais, on paye à l'entreprise 0 fr. 75 c. le mètre cube, deux relais 1 fr., trois relais 1 fr. 25 c., etc. Ce travail se fait au louchet.

Pour un terrain ordinaire, comme terre végétale au-dessus du calcaire grossier suivi lui-même de calcaire dur, le mètre cube revient rarement à moins de 2 fr. à la journée, et souvent va jusqu'à 3 et 4 fr.

Quand on découvre la pierre en bancs réguliers, il faut alors avoir recours aux carriers, ouvriers qui abondent toujours dans les localités où la pierre existe à une petite profondeur.

Afin de rendre le travail des carriers moins coûteux, on leur fait extraire les pierres de taille sous le plus petit volume possible. A part le bâtiment de la machine à vapeur qui exige pour la fondation des cylindres des pierres de 2 mètres sur 1 mètre et 0m.50 au moins, toutes les autres peuvent être de 1 mètre sur 0.75 et 0.50 dans leurs plus grandes dimensions; ce sont celles qui serviront pour les angles des masses. On se gardera bien de casser celles qui se trouvent sous un échantillon plus petit, parce qu'elles serviront pour les faces extérieures des voûtes et les fours à coke.

Les fondations des murs de clôture et des maisons d'habitation, en un mot des accessoires, terminées, on y placera les maçons en pierres qui pourront travailler suivant les localités et le prolongement de la saison, jusqu'au 1er décembre, en ayant soin d'employer de la chaux demi-hydraulique mélangée de cendrée. Par ce moyen, on aura un débouché facile pour les pierres extraites, des magasins sûrs pour ranger les outils, des bureaux pour les chefs, un abri pour les ouvriers pendant leurs repas, une écurie pour les chevaux, un atelier pour la fabrication des briques réfractaires, un *idem* pour les menuisiers et les charpentiers, un atelier pour les tailleurs de pierre, toutes les fois que la pluie ou la gelée les empêchera de travailler à l'extraction, enfin une petite forge à main. L'hiver se passera en terrassements et préparations des travaux de l'été, c'est-à-dire confection des charpentes et menuiseries, ainsi que briques réfractaires, si toutefois on ne commande pas ces dernières hors de l'usine. Dans ce dernier cas, il faut compter que les chemises intérieures, les étalages et les creusets doivent être rendus à l'usine, prêts à être employés, le 1er juillet, c'est-à-dire le jour où les massifs extérieurs seront terminés. Il faut neuf mois au moins pour faire cette besogne et la livrer à l'époque demandée; la commande devra donc être faite neuf mois avant le 1er juillet, c'est-à-dire le 1er octobre de l'année précédente, époque où les briquetiers s'en vont. Au 1er janvier suivant, seront commandées les ferrures et les fontes des masses qui doivent être livrées à l'usine le 1er avril. La soufflerie, qui se compose d'une machine de 100 chevaux ou deux machines de 50 chevaux chaque,

Digitized by Google

n'exige pas moins de neuf mois pour sa construction et livraison, et six mois pour son montage. Comme il faut qu'elle soit prête à fonctionner le 1er juillet après la construction des masses, elle devra être commandée le 1er octobre, en même temps que les chemises intérieures des fourneaux.

Si l'hiver n'est pas rigoureux, on pourra se mettre en mesure, le 1er mars, d'achever les maçonneries accessoires. Au 1er avril on commencera les constructions principales, tant en pierres qu'en briques, consistant en massifs de hauts fourneaux, fours à coke, murs de soutenement, bâtiment de la machine à vapeur, appareil à air chaud, si on en met, aqueduc de la machine à vapeur, halles de préparation et de coulée, fours de grillage. Toutes ces constructions, conduites avec célérité, seront terminées le 1er octobre.

Cette époque arrivée, on procédera au séchage des fourneaux et des fours à coke; on préparera bientôt du coke dans ces derniers, et le 1er janvier on commencera le chauffage intérieur des hauts fourneaux par le four à réverbère jusqu'au 1er mars, où on injectera le coke du haut, et mettra en feu.

Comme on le voit, il est possible, en deux ans, de réaliser complétement la construction d'une usine de deux hauts fourneaux donnant 15,000 kilogr. de fonte grise par 24 heures.

Frais d'établissement d'une usine de deux hauts fourneaux au coke, produisant 15,000 kilogr. fonte grise par vingt-quatre heures.

I. Emplacement et terrain. — Quelque disposition que l'on adopte pour construire une usine de deux hauts fourneaux de cette dimension, on ne peut compter moins d'un 1/2 hectare par fourneau.

Bien que les terrains en montagnes soient assez généralement de peu de valeur quand ils sont exploités par l'agriculture, ils augmentent considérablement quand on sait qu'ils peuvent être utiles à l'industrie; aussi pensons-nous qu'on ne doit pas supposer moindre de 20,000 fr. l'achat du terrain de l'usine.

II. Terrassements. — Les terrassements sont très-variables, suivant les localités; mais comme en général, quand ces derniers ne sont pas considérables, ils sont remplacés par d'autres travaux aussi coûteux, on peut les évaluer à six mois de travail à cent ouvriers payés à raison de 1 fr. 75 c. par jour, ce qui fait :

$$6 \times 25 \times 100 \times 1.75 = 25{,}000 \text{ fr. en nombres ronds.}$$

Il faut en outre :

60 brouettes,
40 pelles,
40 pioches,

qui, évaluées, à cause des réparations et changements qu'elles nécessitent :

| | |
|---|---|
| Les brouettes à. . . . . | 10 fr. |
| Les pelles à. . . . . | 5 |
| Les pioches. . . . . | 10 |

font une dépense de :

| | |
|---|---|
| Brouettes. . . . . | $60 \times 10 = 600$ fr. |
| Pelles. . . . . | $40 \times 5 = 200$ |
| Pioches . . . . . | $40 \times 10 = 400$ |
| | 1,200 fr. |

Digitized by Google

25,000 + 1,200 = 26,200 fr. que nous porterons à 30,000 fr. avec les frais d'outils de carriers (réduction faite des pierres obtenues), de voituriers, etc.

III. Maçonneries accessoires. — Les maçonneries accessoires se composent de :

Murs de clôture.
Loges de portiers,
Logements d'ouvriers,
Ateliers divers,
Bureaux,
Logements d'employés.

Les murs de clôture d'un hectare de terrain, en supposant un côté fermé par un canal ou une rivière, constituent une longueur de 300 mètres, avec trois ou quatre grandes portes qui peuvent être évaluées chacune à 10 mètres en sus. Les murs, y compris les fondations, ont 3 mètres de haut et 0m.45 d'épaisseur moyenne, parce qu'ils se composent de contre-forts de 1 mètre sur 0m.50, espacés de 5 mètres en 5 mètres et reliés par un mur de 0m.40. On a donc : 340 × 0.45 × 3 = 460 mètres cubes coûtant :

| | |
|---|---|
| Pierre, 460 mètres carrés, à 1 fr. . . . . | 460 fr. |
| Mortier, 46 mètres carrés, à 10 fr. . . . . | 460 |
| Main-d'œuvre : | |
| 340 × 3 = 1,020 mètres carrés, à 1 fr. . . . . | 1,020 fr. |
| Total. . . | 1,940 fr. net 2,000 fr. |

En supposant quatre loges de portiers, on peut exécuter à l'entreprise une loge complète de 5 mètres de côté intérieur, carrée, et un étage avec grenier, pour 1,000 fr. On aura donc : loges des portiers, 4,000 fr. Le bâtiment des ouvriers ne peut se composer de moins de 30 logements, qui, évalués l'un dans l'autre à 800 fr., font un total de 30 × 800 = 24,000 fr.

Les ateliers divers se composent de :

| | |
|---|---|
| 1 forge de maréchalerie complète. . . . . | 5,000 fr. |
| 1 atelier de menuisiers-modeleurs. . . . . | 2,000 |
| 1 hangar pour charpentiers, etc. . . . . | 3,000 |
| Total. . . . . | 10,000 |

Le bâtiment des bureaux, comprenant, autant que possible, les logements d'employés et les magasins, coûtera 30,000 fr.

On aura ainsi pour les maçonneries accessoires :

| | |
|---|---|
| 1° Murs de clôture. . . . . | 20,000 fr. |
| 2° Loges de portiers. . . . . | 4,000 |
| 3° Logements d'ouvriers. . . . . | 24,000 |
| 4° Ateliers divers. . . . . | 10,000 |
| 5° Bureaux et logements. . . . . | 30,000 |
| Total. . . . . | 88,000 |
| Net. . . . . | 100,000 fr. |

Digitized by Google

IV. Maçonneries principales. — Elles se composent de :

Les hauts fourneaux,
Les fours à coke,
Les fours de grillage,
Les murs de soutenement,
Le bâtiment de la machine,
L'aqueduc de la machine,
La halle de préparation,
La halle de coulée.

1° *Hauts fourneaux. — Main-d'œuvre.* — Huit maçons par masse font :

| | |
|---|---|
| 4 maçons à 3 fr. | 12 fr. par jour. |
| 4 id. à 2 fr. 50 c. | 10 |
| 8 manœuvres à 1 fr. 75 c. | 14 |
| Manœuvres des pierres de taille et renduisage. | 10 |
| | 46 fr. |

Net 50 fr. par fourneau et par jour.

| | |
|---|---|
| 75 jours pour faire le massif extérieur font $75 \times 50 = 3,750$ fr. | 3,750 fr. |
| 75 jours encore pour les fondations, les chemises intérieures, les creusets et les étalages. | 3,750 |
| Forgeron pendant 3 mois pour les ferrures. | 300 |
| Charpentiers pour les faux-cintres et les gabarits. | 600 |
| Total. | 8,400 |
| Net 10,000 fr. par masse, et pour les deux. | 20,000 |

*Matières premières.* — $6,000 \times 75 = 450,000$ briques ordinaires par fourneau, à 12 fr. le mille.

| | |
|---|---|
| | 5,400 |
| Chemise intérieure en briques réfractaires, 100,000 kil. à 10 fr. les 100 kil. | 10,000 |
| Étalages, *id.*, 20,000 kil. à 10 fr. les 100 kil. | 2,000 |
| Creusets en poudingues siliceux, 60,000 kil. ou 35 m. c. à 120 fr. bruts et 240 fr. taillés. | 8,400 |
| Transport des 3 matières ci-dessus. | 3,000 |
| Fers, 5,000 kil. à 50 fr. le 100. | 2,500 |
| Fontes, 10,000 kil. à 30 fr. rendus. | 3,000 |
| Total. | 34,300 |
| Net 35,000 fr., et pour les deux. | 70,000 |

| | | |
|---|---|---|
| Donc : | Main-d'œuvre. | 20,000 |
| | Matières premières. | 70,000 |
| | Total. | 90,000 |
| que l'on peut porter à. | | 100,000 |

2° *Fours à coke. — Main-d'œuvre.* — Elle se fait à l'entreprise, à raison de 100 fr. par four; il y a 18 fours par fourneau, c'est donc $1,800 \times 2 = 3,600$ francs pour tout.

Digitized by Google

*Matières premières.* — Chaque four consomme 15,000 briques ordinaires et 500 briques réfractaires, valant 5,000 ordinaires.

| | |
|---|---|
| Donc : 20,000 briques à 12 fr. le 1,000. . . . . | 240 fr. |
| Fers et fonte pour portes et défournement. . . . . | 500 |
| Pour 1 four. . . . . | 740 |
| et pour 36. . . . . 740 × 36 = | 26,600 fr. |
| Net. . . . . 30,000 fr. | |

3° *Fours de grillage.* — Deux fours de grillage, à 500 fr. l'un, 1,000 fr.

Il y a le grand mur de soutenement derrière les masses, renfermant les régulateurs du vent quand les machines sont en haut, et un escalier. Comme les régulateurs coûtent à peu près le même prix, soit en tôle, soit en maçonnerie, nous les évaluerons comme s'ils étaient compris dans le mur de soutenement. Ce mur, qui n'a pas moins de 60 mètres de long, 15 mètres de haut, 3 mètres d'épaisseur à la base, fait un volume, avec les régulateurs, d'environ 3,000 mètres cubes coûtant :

| | | |
|---|---|---|
| Pierre. . . . . | 3,000 m. c. à 1 fr. | 3,000 fr. |
| Mortier. . . . . | 300 *id.* à 10 | 3,000 |
| Main-d'œuvre. . . . . | 3,000 *id.* à 1 fr. 50 c. | 4,500 |
| Total. . . . . | | 10,500 fr. |

Évaluant au même prix le mur de soutenement régnant tout autour des fours à coke, plus le mur de soutenement du second étage, des fours de grillage et du parc à mine, nous aurons un total de 20,000 fr. net.

4° *Bâtiment de la machine.* — Le bâtiment de la machine avec la machine de 50 chevaux montée, les chaudières en place, l'aqueduc construit, le tout prêt à fonctionner pour un haut fourneau, coûte 75,000 fr. ; on aura donc, pour les deux fourneaux, 150,000 fr.

5° *Halles de préparation et de coulée.* — On peut les évaluer ensemble à 50,000 fr. à cause des toitures qui sont toujours assez grandes.

On a donc pour frais de constructions spéciales :

| | |
|---|---|
| Hauts fourneaux. . . . . | 100,000 fr. |
| Fours à coke. . . . . | 30,000 |
| Fours de grillage. . . . . | 1,000 |
| Murs de soutenement. . . . . | 150,000 |
| Machines. . . . . | 20,000 |
| Halles. . . . . | 50,000 |
| Total. . . . . | 351,000 |
| Net. . . . . | 350,000 fr. |

V. Fonds de roulement. — Il se consomme par jour 60,000 kilogr. de houille, 45,000 kilogr. de minerai et 15,000 kilogr. de castine; il se produit, pour cela, 15,000 kilogr. de fonte.

Sans entrer dans les détails de la main-d'œuvre et des prix de revient des matières premières, nous dirons que la valeur moyenne de la fonte sortant de l'usine est 120 à 140 fr. les 1,000 kilogr., et que les payements se font de trois à six mois de date. Bien que l'usine jouisse de la même latitude quant aux matières premières, il est toujours bon que son fonds de roulement puisse faire



Digitized by Google

face, au moins, à la presque totalité de ses dépenses. En admettant que le bénéfice brut soit de 20 pour 100 pour trois mois de produit, il y a une dépense faite égale à environ $3 \times 30 \times 15 \times 100$ fr. $= 135{,}000$ fr. par fourneau.

Le fonds de roulement devra donc être, au minimum, de 125,000 fr. par fourneau.

On aura alors pour capital social minimum :

| | |
|---|---|
| 1° Acquisition du terrain de l'usine. . . . . | 20,000 fr. |
| 2° Terrassement. . . . . | 30,000 |
| 3° Maçonneries accessoires. . . . . | 100,000 |
| 4° Maçonneries principales. . . . . | 350,000 |
| 5° Fonds de roulement. . . . . | 250,000 |
| Total. . . . | 750,000 |

750,000 fr. — 250,000 fr. = 500,000 fr., frais d'établissement de l'usine. Ajoutant $\frac{1}{10}$ de cette somme pour les frais d'ingénieur, gérant, directeur, employés, voyages, bureaux, etc., nous aurons un total net de 800,000 fr.

Il existe des usines qui exploitent elles-mêmes soit la houille, soit le minerai, et même ces deux matières à la fois; dans ces trois cas, le capital social est considérablement augmenté. Il n'est pas possible de définir sa valeur pour ce qui est relatif à la houille, mais pour le minerai seul on peut dire qu'il faut compter sur 300,000 fr.; ce qui, avec les 800,000 fr. précédemment indiqués, fait un total de 1,100,000 fr. Il y a des usines où on compte 1,000,000 fr. par haut fourneau.

### Disposition d'une usine de deux hauts fourneaux au coke donnant 15,000 kilogr. de fonte en vingt-quatre heures.

Les fig. 108 à 118 (pl. 18) représentent la disposition que nous regardons comme celle vers laquelle on doit se rapprocher autant que possible dans l'établissement d'une usine de hauts fourneaux, industrie où tous les frais de main-d'œuvre intérieure constituent des transports de matières premières et de produits fabriqués.

Telle que nous l'avons figurée, l'usine se compose d'un terrain rectangulaire d'environ 80 mètres de large sur 150 de long, dans le sens de la coulée des fourneaux, et possédant quatre étages principaux, savoir :

1° Le sol de la fonderie, à 3 mètres au-dessus des plus hautes eaux ;

2° La plate-forme des gueulards, à 15 mètres au-dessus du sol de la fonderie ;

3° Le plateau des fours à coke, à 3 mètres au-dessus de la plate-forme des gueulards;

4° Les routes d'arrivée des matières premières à 2 mètres au-dessus du plateau des fours à coke, et, par conséquent, 5 mètres au-dessus de la plate-forme des gueulards.

Le sens longitudinal de l'usine se trouve transversal à la montagne que longe la vallée, de manière que, d'une part, les déblais soient les moindres possible pour faire la cour de la fonderie, et que, de l'autre, on puisse utiliser le vide à faire un crassier pour les hauts fourneaux et les fours à coke.

Les matières premières et les produits peuvent arriver ou s'en aller, suivant la localité, soit par un canal ou une rivière coulant au bas de l'usine, auquel cas on construit en dehors un plan incliné A, servant à monter les matières premières par une machine à vapeur; soit par une route située en haut, auquel cas les produits sont remontés sur une route inclinée ordinaire.

Digitized by Google

La fig. 108 ne représente qu'une moitié de l'usine coupée longitudinalement; cela vient de ce que les deux parties sont symétriques et peuvent, à volonté, se construire alternativement ou ensemble, ce qui est un avantage quand on ne veut exposer que peu de fonds en commençant.

Description des différentes parties. — A, plan incliné pour monter les matières premières et les crasses des hauts fourneaux, quand les transports extérieurs se font en bas;

B, haut fourneau;

C, halle de coulée;

D, halle de préparation au-dessus du régulateur à vent;

E, bâtiment de la machine à vapeur;

F, chaudière à vapeur;

G, fours de grillage du minerai en roche;

H, parc à mine en terre, en grain, en roche grillée, et castine;

I, dépôt de la mine en roche non grillée;

J, 18 fours à coke;

K, chemin de ronde pour les voitures;

L, dépôt de la houille à carboniser;

M, dépôt du coke;

N, manége pour le défournement;

O, chemins de fer pour le service des gueulards, du crassier et de la fonderie;

P, crassier;

Q, loges de portier;

R, logements d'ouvriers;

S, administration, logements d'employés et magasins;

T, escalier;

U, canal;

V, route;

X, aqueduc des machines à vapeur;

Notre disposition présente plusieurs particularités que nous allons expliquer :

1° Les hauts fourneaux sont à courbure verticale des faces extérieures.

2° Les chaudières sont chauffées par la flamme perdue des gueulards.

3° Les fours à coke forment la circonférence autour du manége.

1° *Hauts fourneaux.* — Les fig. 110, 111, 112 représentent un détail du haut fourneau sur une plus grande échelle.

La courbure verticale a pour but de remplacer la courbure horizontale des faces extérieures inventées par M. Communeau.

Par suite de la dilatation qui se produit forcément avec la température dans les hauts fourneaux, et tend sans cesse à agrandir leurs dimensions en écartant les briques dont ils se composent, on est dans l'usage de les garnir d'armatures composées de tirants en fer, espacés de 0m.50 les uns des autres et croisés, traversant de part en part la chemise extérieure et venant serrer à clavettes contre les faces extérieures des plaques de fonte qu'ils traversent aussi. Ce procédé, bien que satisfaisant sous plusieurs rapports, est loin d'empêcher complétement les faces extérieures de travailler et de fendre, inconvénient qui, en peu de temps, donne aux hauts fourneaux un aspect de vétusté défavorable, et rend leur durée d'ailleurs assez limitée par rapport à l'argent qu'ils coûtent.

Pour rendre plus efficace l'effet des armatures, M. Communeau a imaginé (fig. 119, 120) de reporter toute la poussée des faces sur les quatre angles, en remplaçant le cordeau du maçon par

Digitized by Google

un gabarit courbe. Il résulte de cette ingénieuse disposition que, si les tirants sont suffisamment résistants, le fourneau ne bougera pas; c'est, en effet, ce qui arrive. Mais, malheureusement, il n'est pas aussi facile de faire une construction régulière avec cette disposition que de la représenter sur le papier; elle coûte cher, fait perdre de la place dans le haut et rend la construction beaucoup plus difficile. Les faces du fourneau étant inclinées, elles doivent représenter, soit une surface conique de révolution à axe vertical, soit une surface cylindrique aussi de révolution à axe incliné. Pour exécuter la première, il faudrait un mât placé invariablement, ce qui est impossible à cause du vent, devant chaque face, et un rayon en bois de longueur variable et montant horizontalement. Pour exécuter la seconde, il faut un gabarit en bois que l'on ne peut poser directement sur les briques, parce qu'il y a les pierres de coin qui en empêchent, qu'on ne peut non plus présenter en dehors, parce que les pierres font saillie sur les briques de la différence qu'il y a entre un arc de cercle et sa corde. On a bien proposé de tailler les pierres de coin en arcs de cercles, mais alors non-seulement on dépense de l'argent inutilement, mais on réduit de beaucoup leur résistance en aiguisant un angle droit.

Enfin, admettant que les intersections des cylindres peuvent être des lignes droites, ce qui n'est pas; admettant, en outre, que l'on peut exécuter ces surfaces tant bien que mal quand on commence à partir du sol, nous dirons qu'il est de toute impossibilité d'y songer quand on donne au fourneau, comme dans certains cas, un socle droit montant jusqu'à la hauteur des étalages, et nécessitant une corniche en pierres avant de passer aux faces inclinées; car alors, outre la saillie de 1 mètre que doit avoir la corniche à découvert en dessus et en dehors des faces en talus, il faut encore $0^{m}.60$, au moins, de long, pour recouvrir l'espace laissé par la courbure de la face.

Pour remédier aux divers inconvénients, plutôt pécuniaires qu'autres, de la courbure horizontale des faces, nous pensons que ce qu'il y aurait de mieux serait de faire les faces courbes verticalement. Dans ce cas, la courbe (fig. 110) se composerait de 8 lignes droites de 2 mètres chacune, excepté la dernière de 1 mètre, inclinées différemment, de manière à se rapprocher le plus possible de l'arc de cercle tangent à la verticale, ne changeant en rien le mode de travail des ouvriers, et n'exigeant, en fait de travail extraordinaire, que le renouvellement de la règle de talus des pierres de taille, tous les 2 mètres. Or cette règle n'est autre qu'une planche rabotée et sciée, sans valeur.

La courbure verticale présente l'avantage de reporter toute la poussée sur deux points seulement, la base et le sommet du fourneau; il n'est donc pas utile de munir le corps d'armatures. Pour ce qui est de la base, le poids énorme qu'elle a à supporter est suffisant pour garantir qu'elle ne prendra aucun mouvement; mais pour le sommet, il en est tout différemment: le redressement des faces courbes tend à soulever le fourneau, et ce soulèvement est d'autant plus considérable qu'il est moins chargé dans le haut; d'autre part, la partie supérieure ne tarderait pas à tomber par suite du mouvement que lui communique le soulèvement de la masse, si on ne la maintenait en place par des armatures: il est donc indispensable d'entourer tout le sommet sur une hauteur de 1 mètre environ de cadre en fer, soit d'un seul morceau, soit de quatre barres plates assemblées à boulons et écrous. Dans ce cas, la rupture des armatures n'est plus à craindre comme précédemment, parce que la poussée n'est pas supportée par elles.

Nous avons figuré en dessous du fourneau (fig. 110) une cavité dans laquelle est un foyer destiné à opérer le séchage général de la manière suivante :

Le foyer est recouvert d'une voûte en briques réfractaires, percée de trous d'espace en espace, et servant à la dessiccation complète de la sole du creuset; puis, transversalement, se trouve une voûte allant aboutir par des canaux horizontaux aux quatre cheminées placées aux angles de la masse. De cette manière, on n'a qu'un seul foyer pour sécher toute la masse entière, et on fait

Digitized by Google

une économie de moitié environ dans la dépense en combustible sur la méthode des cinq foyers séparés. Cette disposition n'est pas de nous; elle existe dans les fourneaux de la Belgique, et notamment près de Liége, où nous avons eu occasion de l'observer.

2° *Chauffage des chaudières par la flamme perdue des gueulards.* — Le chauffage des chaudières par la flamme perdue des gueulards a pour but d'utiliser non-seulement la chaleur emportée par les gaz qui se dégagent du fourneau, mais encore la chaleur que la combustion de l'oxyde de carbone qu'ils renferment est susceptible de procurer.

Pour arriver à ce résultat, on a employé plusieurs procédés :

1° On a placé les chaudières à vapeur près du gueulard même.

2° On a reçu les gaz dans un conduit allant jusqu'aux chaudières placées soit au même niveau que les gueulards, mais sur la plate-forme, en dehors des fourneaux, soit au bas du fourneau dans la cour de la fonderie.

Le premier procédé, imaginé par MM. *Thomas* et *Laurens*, a donné d'excellents résultats; seulement il exigeait que les hauts fourneaux fussent adossés à une montagne et munis d'une maçonnerie spéciale pour l'emplacement des chaudières.

Le second procédé, qui est universellement adopté aujourd'hui, consiste à placer les chaudières dans n'importe quel endroit et à les munir d'une cheminée de tirage, comme si elles devaient être chauffées directement par un foyer alimenté par la houille.

Les fig. 121 à 126 (pl. 19) et 127 à 132 (pl. 20) représentent la disposition adoptée par MM. *Thomas* et *Laurens*, dans ce cas, savoir :

*Pl.* 19, fig. 121, 122, 123, 124, prise de gaz sur un haut fourneau au *charbon de bois*, avec épurateur et détail de la trémie, à fermeture hydraulique, servant au chargement de l'appareil; fig. 125, 126, prise de gaz sur un haut fourneau au *coke*, à double fermeture hydraulique et à grue pour soulèvement du couvercle.

*Pl.* 20, fig. 127, 128, 129, 130, 131, 132, chauffage des chaudières à chaleur perdue des hauts fourneaux.

Les gaz des hauts fourneaux arrivent aux chaudières par le tuyau A (fig. 127 et 130) et passent au-dessus d'un foyer B (fig. 127, 128 et 129), alimenté par du menu coke et dont le cendrier est presque intégralement fermé, de manière que la combustion y soit très-lente. L'air nécessaire à la combustion des gaz arrive par la porte C, dans laquelle sont pratiqués de petits trous en quantité suffisante. Chaque chaudière est munie d'un bouilleur (fig. 127, 129) et reçoit, la première, le contact des gaz brûlés.

Afin d'éviter les chambres de vapeur dans les bouilleurs, ces messieurs les terminent, de part et d'autre, par des cônes D D (fig. 127), dont l'apothème inférieur est horizontal et ne nuit, en rien, à la vidange.

La disposition que nous donnons (fig. 110, 112, pl. 18) nous a été suggérée par la nécessité dans laquelle nous sommes de charger les fourneaux à courbure verticale pour les empêcher de se soulever. Nous sommes loin de la prétendre meilleure que les précédentes, et même considérons son exécution comme un peu hardie; mais nous pensons néanmoins qu'elle peut être tentée sans danger; l'avantage qu'elle présente de ne diminuer en rien le tirage, de permettre le chargement aussi facile que quand la cheminée est libre, de ne gêner en rien le service des gueulards en vaut bien la peine.

Elle consiste en une voûte régnant sur toute la longueur de la halle de préparation et maintenue par des tirants en fer espacés de 1 mètre au plus les uns des autres, sur laquelle se construisent les fourneaux des chaudières par la méthode ordinaire; afin d'éviter les mouvements dans ces derniers, on peut les garnir d'armatures. Les trous *a a* placés de chaque côté, en bas du canal

Digitized by Google

d'arrivée du gaz sous les bouilleurs, sont destinés à l'introduction de l'air qui doit brûler ces derniers, et à l'éjection de l'eau au dehors, dans le cas où une chaudière viendrait à fuir.

3° *Fours à coke en cirque.* — Il existe à l'usine du Creusot un procédé de défournement des fours à coke qu'on ne saurait trop recommander, tant par l'économie qu'il apporte dans la main-d'œuvre que par l'amélioration qu'il a introduite dans l'état sanitaire des ouvriers chargés de cette opération. Ce procédé consiste dans l'emploi d'un râteau en fer communiquant par des tirants à une chaîne qui s'enroule sur un treuil mû par un cheval pour l'extraction du coke hors des fours. Cette opération, qui se fait ordinairement à bras d'homme au moyen de fourches recourbées en fer, est excessivement pénible et malsaine, parce que les hommes sont exposés à la chaleur rayonnante directe du combustible qui tombe à leurs pieds, et respirent pendant un temps assez long les gaz carbonés qui s'en dégagent. Par le procédé du Creusot, les ouvriers n'approchent du combustible qu'au moment de jeter de l'eau dessus pour l'éteindre et entraîner à l'état d'hydrogène sulfuré la presque totalité du soufre qu'il contient encore. Voici, du reste, comment le défournement s'effectue :

Un cheval est attelé au râteau (fig. 113) qu'il traîne derrière le four au-dessous de la porte B (fig. 114). Un ouvrier placé sur le four à l'endroit du cric C, dont l'extrémité C' s'assemble à charnière avec la porte en fonte B par un goujon mobile, soulève cette porte ainsi que celle de devant; deux autres munis de bâtons soulèvent le râteau qu'ils ont soin de ne pas toucher parce qu'il est chaud, et le placent debout au-dessous de la porte; ensuite, les mains garnies de feutre, ils prennent des tirants en fer, pointus, préparés au-dessus du four, et les passent par les trois trous *a*, *b*, *c* du râteau et à travers le combustible, opération qui nécessite une certaine habitude; cela fait, ils passent trois clavettes. L'ouvrier placé sur le devant passe des clavettes dans les extrémités antérieures des tirants, et les prend dans trois agrafes correspondant à une chaîne qui, au moyen d'une poulie de renvoi, va s'enrouler sur un treuil mû par un cheval que conduit un cinquième ouvrier. Le coke dehors, l'ouvrier, de dessus les fours, ferme la porte de devant; ceux de derrière chargent le four ; celui du devant jette, sur le coke, de l'eau qu'il a dans un tonneau monté sur des roues près de lui, et le cinquième amène le cheval pour prendre le râteau. Le coke éteint, on défait les clavettes, repasse les tirants en dessus des fours, et ainsi de suite.

C'est le procédé du Creusot que nous avons représenté (fig. 114 et 115, pl. 18) avec cette légère modification, qu'au lieu d'avoir les fours sur une seule ligne droite, nécessitant le transport de la poulie de renvoi de four en four, nous les avons mis sur une circonférence au centre de laquelle est le manége opérant la traction directement. Devant chaque four est un petit couloir allant au manége et dans lequel est un tirant en fer, ce qui permet d'opérer le dépôt du coke tout autour du manége, sans craindre que cela gêne le défournement. En *o*, *o* (fig. 109), sont deux plans automoteurs qui font, sans main-d'œuvre aucune, les transports du coke aux fourneaux et des cendres au crassier. Notre disposition présente, relativement à celle du Creusot, l'inconvénient d'occuper un espace de 1/10 plus grand que celui nécessaire pour cette dernière. Un four à coke du Creusot occupe 90 mètres carrés, tout compris; un des nôtres, 100 mètres carrés.

### *Monte-charges.*

Quand l'arrivée des matières premières et l'écoulement des produits ont lieu par la même voie, ce qui, depuis les chemins de fer, est le cas le plus général, l'adossement des hauts fourneaux aux montagnes n'a plus sa raison d'être, et il est plus économique de monter mécaniquement soit les *charges* au niveau du gueulard, soit les *produits* au niveau de la voie.

Digitized by Google

De tous les appareils imaginés pour monter les charges au niveau du gueulard, celui qui a eu le plus de succès est le monte charge hydraulique, représenté dans les fig. 133, 134 (pl. 21), tel que l'exécutent MM. *Thomas* et *Laurens*.

Le monte-charge hydraulique consiste en deux planchers A et B (fig. 133 et 134) suspendus, au moyen de quatre tringles C et d'un croisillon (fig. 135), aux deux extrémités d'une chaîne D dont le poids est constamment équilibré par une seconde chaîne E reliant les parties inférieures des planchers et faisant chaîne sans fin.

Au-dessous de chacun de ces planchers est fixée une caisse en tôle F d'une capacité suffisante pour recevoir un poids d'eau supérieur à celui qu'il s'agit de monter.

A la partie supérieure de l'appareil est une poulie G embrassée par la chaîne sans fin et munie d'un frein H pour modérer la vitesse ou arrêter les plateaux quand ils sont arrivés à l'extrémité de leur course; un crochet I sert en même temps à amarrer le plateau supérieur et l'empêcher de redescendre sans autorisation.

Un réservoir d'eau, alimenté soit par une pompe, soit par l'eau des montagnes voisines, et situé sur la plate-forme du gueulard, sert à remplir alternativement les caisses à eau F.

Les charges arrivent sur le plancher inférieur B au moyen d'un chariot J roulant sur un chemin de fer et se rendent au gueulard au moyen du même chariot roulant sur un autre chemin de fer de même dimension que le premier.

Quand la caisse F (fig. 136) arrive au bas de sa course, en vertu du supplément de poids que représente l'eau dont elle est remplie, la soupape *s*, représentée en détail dans la fig. 137, frappe sur une grille K et s'ouvre. L'eau s'écoule alors dans le tuyau L et la caisse se vide. On comprend maintenant pourquoi le crochet I est indispensable.

Afin que la descente et la montée des planchers se fasse régulièrement et sans oscillation dans tous les sens, on les guide au moyen de quatre tringles en fer M situées aux quatre angles des planchers. Ce qui caractérise les monte-charges de MM *Thomas* et *Laurens*, c'est non-seulement la chaîne sans fin qui fait que l'appareil est toujours en équilibre, mais encore la disposition du guidage. Au lieu de fixer les tringles M par leurs deux extrémités, comme cela se pratique généralement, ces messieurs les fixent seulement dans le haut et les terminent inférieurement par des contre-poids qui les maintiennent toujours verticales et leur permettent de céder légèrement quand la charge, en mouvement, a de la tendance à dévier de la verticale.

Digitized by Google

# DEUXIÈME PARTIE.

## DE LA FABRICATION DU FER.

Nous avons vu (page 77) que le *fer*, en sa qualité de métal *infusible*, mais *soudable* et *malléable*, ne se livre au commerce qu'après avoir été, préalablement, *corroyé*.

Comme, d'une part, ce métal n'est *soudable* qu'à une température excessivement élevée; comme, d'autre part, sa *malléabilité* est proportionnelle à la température qu'il affecte, toutes les opérations que comporte sa fabrication se font à *chaud*.

Or, nous l'avons dit (page 46), quand le fer se trouve, à une haute température, en présence de l'*oxygène* ou de l'*acide carbonique*, ces gaz l'attaquent plus ou moins vivement et le convertissent soit en *fer brûlé*, soit en *deutoxyde*. Quand le métal est destiné à recevoir, fini, un *recuit en vase clos*, sa conversion en fer brûlé est sans inconvénient; mais il en est rarement ainsi. Il faudrait donc, si on voulait absolument éviter la fragilité et les déchets, qui sont la conséquence du contact des gaz oxydants, opérer le chauffage du métal en vase clos, ou dans un milieu conservateur, tel que l'oxyde de carbone, par exemple.

Le chauffage, à haute température, du métal en vase clos est impossible économiquement, attendu qu'il exige les mêmes frais que la fusion de l'acier; le chauffage dans un milieu conservateur a lieu toutes les fois que le métal est en contact avec le combustible et que ce dernier ne consomme pas plus d'oxygène qu'il ne lui en faut pour se convertir en oxyde de carbone. Mais alors la température est, de très-peu, supérieure au rouge-cerise et ne peut convenir que pour *l'écrouissage* du métal.

Quand le métal doit être soudé, il faut, de toute nécessité, qu'il subisse le contact soit de l'oxygène, soit de l'acide carbonique, et, par conséquent, dissolve des gaz et se convertisse, en partie, en deutoxyde. La formation du deutoxyde est inévitable, et le moyen de rendre le *déchet minimum* consiste à chauffer aussi promptement que possible. Malheureusement la vitesse de propagation du calorique, à travers le métal, n'est pas très-grande, et plus les *paquets* à souder sont considérables, plus le calorique met de temps à pénétrer à cœur.

La dissolution de l'oxygène, au contraire, peut être évitée; pour cela, il suffit, au lieu d'extraire le métal pur de la matière première qui sert à le fabriquer, de l'extraire à l'état d'*acier* suffisamment carburé pour convertir, en oxyde de carbone qui se dégage, tout l'oxygène qui tend à s'y dissoudre.

Digitized by Google

Il résulte de ces explications que le corroyage exigeant toujours une haute température et ne pouvant s'effectuer à l'abri du contact de l'oxygène ou de l'acide carbonique, l'art de fabriquer le fer consiste à convertir, en pièces soudées de formes spéciales, des paquets de métal suffisamment carburé pour neutraliser l'action destructive de l'oxygène à l'intérieur et suffisamment gros pour, après la *perte au feu*, affecter les dimensions qu'ils doivent avoir.

# SECTION Ire.

## DU CORROYAGE EN GÉNÉRAL.

Le corroyage a pour but deux opérations principales qui sont :

Le soudage des paquets de métal ;
L'étirage des paquets soudés.

Mais comme nous venons de le voir, il en comporte, nécessairement, une troisième, qui porte le nom d'*affinage*, et qui est la conséquence du chauffage du métal au contact des gaz oxydants. Comme ces trois opérations, quoique distinctes, exigent, chacune, un chauffage préalable du métal, une des conditions principales à remplir, dans la fabrication du fer, pour opérer économiquement et faire le moins de déchet possible, est de ne donner de chaude au métal, soit pour l'une, soit pour l'autre de ces trois opérations, qu'autant qu'on est en mesure de les lui faire subir toutes les trois. Il y a cependant, en faveur de l'étirage, quelques exceptions que nous relaterons plus loin.

En principe, donc, chaque chaude que l'on donne au métal correspond à un corroyage et comprend trois opérations distinctes, savoir :

Une opération *chimique*, dite *affinage* ;
Une opération *physique*, dite *soudage* ;
Une opération *mécanique*, dite *étirage*.

Nous allons examiner successivement chacune de ces opérations qui, à elles seules, comprennent toute la fabrication du fer.

## CHAPITRE PREMIER.

### DE L'AFFINAGE.

L'affinage du fer est une opération chimique qui s'effectue d'elle-même toutes les fois que l'on chauffe le métal carburé en présence de l'oxygène ou de l'acide carbonique. Le métal, analogue, en cela, aux matières sucrées que l'on soumet à la fermentation, devient de plus en plus pur, au



Digitized by Google

fur et à mesure que l'oxygène lui enlève son carbone et commence à dégénérer en fer brûlé, dès qu'il ne contient plus de carbone, si la réaction continue.

L'affinage est tantôt l'opération principale, en vue de laquelle s'effectue le chauffage, tantôt la conséquence de ce dernier, quand il a lieu pour l'une des deux autres. Il est opération principale quand il s'agit de rendre *malléable* et *soudable* le métal pris, soit à l'état d'*oxyde*, soit à l'état de *fonte*. Il est opération accessoire quand il s'agit de *souder* ou *étirer* le métal, soit pur, soit à l'état d'*acier*, c'est-à-dire de *fer* légèrement carburé.

Les matières premières de la fabrication du fer étant le *minerai de fer* et la *fonte*, le fer fini est toujours le résultat d'au moins deux chaudes, dont l'une en vue de l'*affinage* proprement dit et l'autre en vue du *corroyage*.

Le fer plus ou moins carburé, mais soudable et malléable, provenant de la première chaude, porte le nom de *fer brut;* quant à celui qui provient des chaudes subséquentes, il ne porte le nom de *fer fini* que quand il n'a plus de chaudes à recevoir; jusque-là il porte celui de fer *ébauché*.

Les fers *ébauchés* se distinguent en fers corroyés une fois, corroyés deux fois, etc., et comme, en général, les fers bruts ne subissent guère plus de deux chaudes, on les nomme, pour simplifier :

Le fer corroyé une fois. . . . . fer ébauché.
Le fer corroyé deux fois. . . . . fer corroyé.

Ainsi :

Fer brut signifie. . . . . une chaude.
Fer ébauché. . . . . deux chaudes.
Fer corroyé. . . . . trois chaudes.

Quant au fer fini, il est l'équivalent, comme chaudes reçues, tantôt du fer ébauché, tantôt du fer corroyé, tantôt d'un mélange de ces deux fers, etc. Il en résulte qu'il importerait, lors du chauffage, en vue de la fabrication du *fer brut*, de bien se rendre compte, au point de vue de la teneur en carbone de ce dernier, du nombre de chaudes que devra encore subir le métal avant de devenir *fer fini;* mais comme, en général, on ne domine pas l'affinage dont la vitesse varie suivant l'état de pureté de la matière première, on préfère classer les fers bruts après étirage en barres, d'après la texture qu'ils affectent, ce qui nécessite un cassage de toutes les barres. Néanmoins, quand le corps à expulser est l'*oxygène*, il convient toujours d'apporter le *carbone* en assez grande abondance pour non-seulement saturer intégralement ce gaz, mais encore pour carburer le métal et le convertir en *acier* plus ou moins doux, suivant le nombre de chaudes qu'il devra ultérieurement subir. Si, au contraire, le corps à expulser est le *carbone*, il convient d'agir d'autant plus modérément avec l'*oxygène*, que le métal est moins pur; s'il contient du *phosphore* (page 52), notamment comme les fontes de *Champagne* et les fontes au coke convenablement fabriquées (page 53), l'affinage chimique a à peine besoin d'être aidé; ce n'est que pour accélérer l'opération qu'on ajoute des battitures. Il convient de dire cependant que, quand la dose de phosphore est trop grande, comme le fer qui en résulte est cassant à froid, il vaut mieux décarburer plus complétement, au risque d'avoir du fer brûlé dans les chaudes suivantes, que de fabriquer un métal qui n'a que des applications restreintes. Le départ du carbone n'entraîne jamais avec lui celui de tout le phosphore, mais il entraîne une partie telle, que celle qui reste raccourcit le nerf du métal froid, il est vrai, mais ne fait pas cristalliser ce dernier.

Il est donc des fers qui, par la composition de leur fonte, doivent perdre, à la première chaude, la presque intégralité de leur carbone. Pour tirer parti de ces fers, quand on les em-

Digitized by Google

ploie purs, il convient de ne les affecter qu'à la fabrication des échantillons qui, finis, ne comportent que *deux chaudes*, ou de ceux qui, par leur destination, comportent le *recuit en vase clos;* mais en les mélangeant on peut, dans certains cas, en tirer un meilleur parti. Ainsi, s'ils ne contiennent pas de *soufre*, leur fonte, affinée avec une fonte fine, c'est-à-dire difficile à décarburer, donne, en peu de temps, un fer brut dont la qualité est souvent égale à celle du fer provenant de l'affinage de la fonte fine traitée pure, tandis qu'il faut assez longtemps, surtout au *four à réverbère*, pour décarburer les fontes fines pures.

Mais si les fontes impures soumises à la décarburation ne peuvent pas toujours conserver assez de carbone pour subir, sans danger, les autres chaudes, on peut dire que c'est massacrer la besogne que de convertir, en fer brut à nerf, les fontes fines soumises à l'affinage. Cependant cela a lieu très-souvent et sans protestation de la part des chefs, ce qui permet de supposer que ces derniers ne se rendent pas compte des conditions auxquelles il faut satisfaire pour fabriquer du bon fer.

Nous venons de dire que les fontes fines abandonnent difficilement leur carbone en présence de l'oxygène; il est donc toujours possible de leur en laisser suffisamment pour qu'elles cassent à grain au bout de la première chaude; quand il en est autrement, c'est qu'on abuse des *crasses* pour accélérer l'affinage, et ce fait doit être énergiquement réprimé. Nous verrons, dans le chapitre suivant, que ce n'est pas seulement au point de vue de l'action de l'air dans les chaudes ultérieures qu'il convient de conserver du carbone dans le métal, et que la présence de ce métalloïde dans le fer est indispensable dès que le produit exige une certaine qualité.

---

## CHAPITRE II.

### DU SOUDAGE.

Le *soudage* se compose de deux opérations, savoir:

Le *chauffage* à une température d'autant plus élevée que le métal est plus pur;

Le *serrage* ou rapprochement des surfaces du métal suffisamment échauffées pour souder par simple contact.

#### Du chauffage.

S'il n'est pas extrêmement difficile d'atteindre, dans un four, la température à laquelle soudent les fers les plus purs, il est, en revanche, extrêmement difficile de faire pénétrer cette température à cœur du métal, quand il occupe un certain volume, même en faisant un déchet considérable. D'un autre côté, quand les fers sont *tendres*, c'est-à-dire chargés soit de *carbone* pur, soit d'autres matières étrangères en dissolution, ce qui était une difficulté insurmontable devient d'autant plus facile que le volume occupé par le paquet est moins considérable. Ainsi, ce n'est pas seulement en vue de neutraliser l'action de l'oxygène de l'air qu'il convient de conserver dans le métal une certaine quantité de carbone pour les diverses chaudes que comporte sa fabrication, c'est encore en vue de le rendre soudable à cœur à une température relativement basse.

Ceci n'est pas tout; le fer, étant infusible, ne s'extrait de ses matières premières, *minerai* et *fonte*, qu'en grains nageant au milieu d'un silicate plus ou moins basique, suivant l'énergie avec laquelle réagit l'oxygène de l'air sur celles de ses parties qui sont en contact avec lui seul. Quand

Digitized by Google

on réunit ces grains pour les souder ensemble, ils conservent toujours une partie de ce silicate et de battiture intercalés qui ne peuvent s'échapper, par le serrage, qu'à l'état liquide. Le silicate étant fusible à assez basse température, il est toujours possible de l'évacuer dans les soudages ultérieurs ; mais la battiture, une fois refroidie, est presque aussi infusible que le métal lui-même, et, intercalée dans son intérieur, constitue ces *pailles d'oxyde* dont il n'est possible de débarrasser le métal que par une réaction chimique. Or aucun corps ne convient mieux, pour cette réaction, que le carbone ; il engendre, il est vrai, des soufflures d'oxyde de carbone ; mais ces soufflures, dont les parois sont du métal décapé, soudent au serrage. Quant au gaz intercalé, il est presque toujours expulsé par l'une des extrémités de la paille même ; en tous cas, s'il ne l'est pas, il réduit l'étendue de la paille à sa dimension minima.

Ainsi la présence du carbone dans le métal, pendant toute la durée de la fabrication, non-seulement neutralise l'action de l'oxygène de l'air, mais encore elle le rend soudable à basse température et détruit les pailles d'oxyde, c'est-à-dire constitue le métal dans le même état d'homogénéité que s'il avait été fondu et coulé dans une lingotière.

Voilà ce que, les premiers en France, ont compris MM. *Petin* et *Gaudet*, et ce qui a été la cause de leurs premiers succès. Les chemins de fer voulaient absolument des bandages homogènes et parfaitement soudés ; le fer à nerf étant incapable de remplir ce but, on demanda du fer à grains ; l'Angleterre en fournissait, et toutes les commandes menaçaient de se tourner vers ce pays, lorsque MM. *Petin* et *Gaudet* présentèrent des échantillons résultant du mode de puddlage organisé dans leur usine de Saint-Chamond, et retinrent en France une partie des capitaux qui se préparaient à émigrer chez nos voisins.

Nous avons dit que les fers tendres soudent à température relativement basse, si on les compare aux fers fins ; mais ce soudage n'a lieu à cœur, pour eux comme pour les seconds, qu'à la condition que la superficie subit un grand déchet. Pour éviter ce déchet, on a inventé la *couverture*.

On appelle couverture un couple de barres dont on recouvre les faces supérieure et inférieure des paquets ou lopins ; ces barres sont toujours en fer plus réfractaire que l'intérieur, soit parce qu'il a subi une chaude suante de plus, soit parce qu'il est de qualité supérieure. Comme c'est la surface des paquets qui subit le plus énergiquement l'action de l'oxygène de l'air, on comprend que cette surface est d'autant moins attaquée qu'elle est moins tendre à chaud ; il en résulte que, tandis qu'elle résiste autant qu'elle le peut à l'action de l'oxygène, l'intérieur s'échauffe et devient soudable, au moment seulement où la couverture commence à être entamée. En un mot, le principe de la couverture est de proportionner la qualité des diverses barres composant le paquet à l'énergie avec laquelle l'oxygène est susceptible de les attaquer.

Une des grandes difficultés, qui se présente dans l'emploi de la *couverture*, c'est de la choisir suffisamment réfractaire pour lutter avantageusement contre l'action destructive de l'oxygène, mais pas assez réfractaire pour ne pas souder avec l'intérieur quand il est chaud ; aussi la compose-t-on généralement de fer de même nature que l'intérieur, ayant seulement une chaude de plus. Mais cette règle n'est pas rigoureuse ; ainsi le fer brut de fonte de Champagne peut très-bien servir de couverture au fer brut de fonte au coke, etc.

Quand la couverture est trop réfractaire, elle produit plusieurs effets, suivant sa nature ; tantôt elle se détache pendant l'étirage, tantôt elle soude ; dans ce dernier cas, si l'intérieur est très-tendre, elle lui fait faire, au laminoir, ce que l'on nomme la queue du poisson ; chacune des barres de la couverture s'empare d'une moitié du paquet, et, comme l'étirage est plus grand au milieu qu'à la surface, le paquet s'ouvre par le milieu en sortant du laminoir, et se bifurque à droite et à gauche. Quand l'intérieur a assez de corps pour résister à la traction qu'opère de chaque côté l'inégalité dans l'étirage, il s'étire plus que la couverture, en dépasse les extrémités

Digitized by Google

et fait des *bouts écrus* trop longs, qui constituent non-seulement un déchet, mais encore donnent les barres affranchies plus courtes que la commande les exige.

Nous reviendrons sur cette question importante en parlant de la fabrication du fer marchand.

Les couvertures ne sont pas le seul moyen employé pour faciliter le soudage. Étant admis que le métal met d'autant plus de temps à s'échauffer à cœur qu'il a plus d'épaisseur, le moyen de composer un gros bloc de fer parfaitement soudé, sans comporter beaucoup de déchet, consiste à composer ce gros bloc d'une infinité de petits réunis en *paquets*. De là, l'origine de l'étirage comme conséquence de chaque chaude.

Le fer brut, sortant en boule de la première chaude, c'est-à-dire de l'affinage proprement dit, est serré, puis ensuite étiré soit en barres plates, soit en barres carrées de petits échantillons. Les barres plates sont préférables pour la confection des paquets, parce qu'elles offrent une plus grande surface de chauffe, eu égard à leur volume.

Les *couvertures* et les *barres plates*, voilà la base de la fabrication du fer *fini* au *maximum* de soudage et au *minimum* de déchet.

Quand les fers ne peuvent pas être étirés à la longueur voulue, d'une seule chaude, on leur donne une seconde chaude, qui ne doit jamais avoir en vue que l'étirage et, par conséquent, ne doit pas être suante. En effet, si le métal n'a pas soudé à cœur à la première chaude, c'est-à-dire quand le paquet, composé de barres plates et minces, laissait facilement circuler la flamme dans son intérieur, on ne peut espérer qu'il soudera, à la seconde, qu'en faisant un déchet considérable, ce qui est inadmissible dans une fabrication où on a pour but de réaliser des bénéfices.

Il nous reste maintenant à dire quelques mots du chauffage lui-même, quand il a lieu en vue du soudage.

Le chauffage du fer s'effectue tantôt dans un *feu soufflé*, où le métal est en contact avec le combustible, tantôt dans un *four à réverbère*, où le métal et le combustible occupent chacun un compartiment spécial.

Quand le chauffage a lieu dans un *feu soufflé*, il convient, autant que possible, que le vent n'ait d'autre effet que de brûler le carbone libre, pour produire la température sans oxyder le métal. Or, comme d'une part on ne peut obtenir la température soudante qu'en produisant de l'acide carbonique, comme d'autre part il faut un certain temps au calorique pour pénétrer le métal à cœur, il importe de commencer le chauffage en donnant peu de vent, de manière à ne produire que de l'oxyde de carbone. De cette manière, le calorique pénètre à cœur du métal sans lui faire éprouver du déchet; en outre, le métal se carbure superficiellement, de telle sorte que, quand le moment est venu de donner le vent en plein pour produire la température soudante, non-seulement le fer s'échauffe rapidement, mais encore le carbone, qu'il a dissous superficiellement, le préserve, pendant une partie du chauffage, de l'action énervante de l'oxygène ou de l'acide carbonique. Quand le chauffage a lieu au *four à réverbère*, il faut se rappeler que le *tirage par inspiration* (page 38), ou *vent forcé*, ne peut produire seul une haute température que dans les régions supérieures de l'appareil; que le tirage *par aspiration*, au contraire, permet de diriger la flamme partout où elle est nécessaire, mais suffit rarement seul à remplir les deux buts.

Nous ne reviendrons sur ce que nous avons dit concernant le tirage que pour faire remarquer l'importance du rôle que joue l'*autel* dans le chauffage du fer.

L'autel est un mur en briques, situé entre le foyer et la sole, dont le but est d'élever plus ou moins le point de départ de la flamme en vue du chauffage maximum à une hauteur déterminée au-dessus de la sole. Or, en ce qui concerne le chauffage du fer ayant pour but le soudage, bien qu'il soit nécessaire de communiquer à ce métal la plus haute température possible, il ne conviendrait nullement de le placer dans le courant même de la flamme, parce que cette dernière ne peut

Digitized by Google

être très-chaude qu'autant que le carbone s'y convertit en acide carbonique, et que la formation d'acide carbonique ne peut avoir lieu que là où il y a excès d'oxygène.

Ne pouvant être dans la flamme, à peine de produire un déchet considérable et de se brûler, le fer se place nécessairement au-dessous; le chauffeur en est quitte pour retourner de temps en temps son paquet pour lui communiquer une température uniforme.

Pour placer le fer en dessous et aussi près que possible de la flamme, on donne à l'autel et à l'orifice de sortie du gaz une hauteur au-dessus de la sole en rapport avec la courbure de la parabole que décrit la flamme dans le four, sous les influences simultanées de sa faible pesanteur et du tirage par aspiration. Si le four tire très-bien, la parabole étant très-rapprochée de la ligne droite parallèle à la sole, on donne à l'autel et à l'orifice de sortie une hauteur au-dessus de cette dernière, égale à celle du paquet de fer à chauffer; si le four tire mal, il faut baisser l'autel et l'orifice de sortie, afin que la flamme puisse lécher la surface supérieure du métal. Mais un four qui tire mal est inadmissible pour le soudage du fer, parce qu'il chauffe lentement et *sec*, c'est-à-dire favorise la dissolution de l'oxygène dans le métal et donne du fer cassant.

Il faut un tirage énergique et, conséquemment, un chauffage *gras* pour le fer.

On s'aperçoit qu'il en est ainsi lorsque le métal se recouvre, en chauffant, d'un vernis de battiture en fusion, tandis que, quand le chauffage est *sec*, le métal reste *mat*, parce que l'action de l'oxygène est faible et insuffisante pour que la battiture entre en fusion en se formant. Dans ce cas, l'attaque intérieure est beaucoup plus vive que si la battiture était fondue; le fer aspire l'oxygène libre et le dissout en perdant son carbone.

Le tirage faible n'étant pas admissible pour le chauffage du fer, surtout en vue du soudage, la flamme doit toujours être considérée comme traversant le four parallèlement à la sole, et l'autel doit avoir une hauteur égale à celle du paquet de fer à chauffer.

Outre l'avantage qu'il a de préserver le fer de l'action de la flamme, l'autel a encore celui de maintenir le métal dans une atmosphère de gaz brûlés qui sont sans action sur le métal. En effet, le courant ayant lieu du dessus de l'autel à l'orifice de sortie, tout l'espace compris entre la flamme et la sole y est étranger, et il n'y a de renouvellement de gaz dans cet espace que quand on ouvre la porte du four ou quand l'autel se perce, ce qui arrive quelquefois et ce à quoi il faut remédier avec le plus grand soin.

Nous avons dit qu'un tirage peu énergique était inadmissible pour le chauffage du fer, surtout en vue du soudage; nous devons ajouter que, depuis l'application des flammes perdues des fours au chauffage des chaudières, cette condition n'est pas toujours parfaitement remplie, et que, bien certainement, la qualité des fers doit s'en ressentir. Ce n'est pas que nous soyons opposé à ce mode de chauffage des chaudières, mais il ne doit être appliqué, à notre avis, qu'aux fours qui ont un tirage assez énergique pour que la modification ne retarde que d'une manière insignifiante le chauffage du métal. Pour cela il convient d'avoir, dans les forges, des cheminées communes à plusieurs fours, au lieu de cheminées spéciales, parce que les cheminées communes se maintiennent plus régulièrement chaudes. Quand un four, chauffant une chaudière à flamme perdue, a une cheminée spéciale, cette cheminée se refroidit dès qu'on lève la porte du four, soit pour charger, soit pour refaire la sole; quand la cheminée est commune à un grand nombre de fours, le refroidissement de l'un d'eux est sans action sensible sur la température moyenne de la cheminée, et le tirage est constamment le même.

Il y a, il est vrai, des précautions à prendre pour empêcher les tirages divers de se contrarier; mais ces précautions sont fort simples; nous en parlerons principalement lorsqu'il sera question de la *fusion de l'acier à la houille*.

Depuis longtemps on applique avec succès le vent forcé au chauffage du fer; le grand avan-

Digitized by Google

tage que présente ce moyen d'activer la combustion, c'est de communiquer, en peu de temps, au four une température suante. Son application est-elle un progrès? est-elle, au contraire, un moyen de suppléer au défaut de tirage occasionné par l'utilisation des flammes perdues au chauffage des chaudières? Nous craignons de nous prononcer, seulement nous ferons observer que son application doit être limitée.

En effet, quand les paquets de fer ne pèsent pas plus de 2 ou 3 kilogr., on peut donner le vent dès que la *charge* a été introduite dans le four; le temps que met ce dernier à s'échauffer permet au métal de se chauffer lui-même à cœur, et, quand le blanc soudant est atteint, le métal est bon à *passer*. Mais, quand les paquets atteignent 4 à 600 kilogr., il faut bien se garder de donner le vent en plein au commencement de la chaude; car, de quelque façon qu'on s'y prenne, il faut deux heures environ pour chauffer à cœur un paquet de ce poids; le vent forcé n'est donc là que d'un intérêt très-secondaire, et on peut dire que si, dans ce cas, il donne de meilleurs résultats que le tirage seul de la cheminée, c'est que cette dernière fonctionne mal, grâce, sans doute, à la mauvaise disposition des galeries de la chaudière. Du reste, il est un moyen infaillible de décider si c'est par défaut de tirage de la cheminée que le vent forcé donne un bon résultat. Si la cheminée ne tire pas suffisamment, le vent forcé use les voûtes très-rapidement; cela se comprend, puisque, dans ce cas, les plus hautes températures sont dans les régions supérieures de l'appareil, le tirage de la cheminée n'étant pas de force à diriger la flamme.

Nous reviendrons, du reste, sur toutes ces questions dans le cours de la fabrication.

### Du serrage.

Le serrage est une opération essentiellement mécanique, qui a pour but de mettre en contact les surfaces métalliques à souder entre elles. Quand un paquet est chaud, les diverses barres dont il se compose sont bien en contact, mais ce contact est loin d'être intégral, et, partout où le métal n'est pas soudé, il y a entre les surfaces une couche de battiture liquide qu'il faut expulser. Il n'y a qu'un serrage mécanique qui puisse opérer ce résultat, et il faut qu'il soit assez énergique pour, en expulsant la totalité du liquide intercalé, effectuer le décapage des surfaces, sans quoi le soudage n'aurait pas lieu.

Il existe beaucoup d'appareils à serrer le métal; les uns ne sont propres qu'à cette opération, les autres conviennent à l'étirage aussi bien qu'au serrage. En général, ils varient non-seulement suivant l'énergie que comporte la résistance du métal eu égard à sa qualité, mais encore suivant la forme qu'affecte le paquet à serrer. Pour bien les apprécier, il convient de définir l'opération qu'ils ont à effectuer; aussi ne les décrirons-nous qu'à la place qu'ils occupent dans le cours de la fabrication.

---

## CHAPITRE III.

### DE L'ÉTIRAGE.

Il y a deux manières d'étirer un métal : 1° par traction; 2° par compression.

Dans le premier cas, c'est la *ductilité* du métal qui est en jeu; dans le second cas, c'est sa *malléabilité*.

Digitized by Google

L'étirage par *traction* ne se pratique, généralement, que dans des cas particuliers, tels que la fabrication des fils de fer à froid et même à chaud. Dans les forges, l'étirage a toujours lieu par *compression* et s'effectue soit au *marteau*, soit au *laminoir*. Voilà pourquoi ces outils peuvent également servir pour le serrage du métal.

### De l'étirage au marteau.

Théoriquement, le marteau est un poids P tombant d'une hauteur $h$ et produisant, à chaque coup, un travail représenté par P$h$. La durée de la chute est représentée par la formule :

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0.45\sqrt{h},$$

$g$ étant égal à 9 8088 par seconde.

Si $h = 1^m.00$, on a :

$$t = 0''.45.$$

En supposant que le moteur chargé de soulever le marteau mette autant de temps à le remonter que ce dernier en met à descendre, chaque coup de marteau, ayant un mètre de chute, prend 0''.90, soit, en nombre rond, une seconde, et le nombre maximum de coups que peut donner ledit marteau, par minute, est de *soixante*.

Si, au lieu de s'élever à un mètre, le marteau rencontre, à moitié chemin, un corps élastique, qui change brusquement le sens de son mouvement, il retombe en produisant, comme précédemment, un travail P$h$; seulement, son parcours, soit en montant, soit en descendant, étant de moitié moindre qu'auparavant, la durée de chaque coup est d'environ moitié moindre aussi, ce qui lui permet de donner, par minute, 120 coups au lieu de 60.

Il y a donc deux catégories principales de marteaux, savoir :

1° Les marteaux qui, lancés de bas en haut par un moteur, ne s'arrêtent que quand la force accélératrice de la pesanteur, agissant en sens contraire, fait équilibre à la force motrice en vertu de laquelle ils s'élèvent, et retombent ensuite de tout leur poids sur la pièce à étirer.

2° Les marteaux qui, lancés de bas en haut par un moteur, rencontrent en route un obstacle élastique dont le but est de leur faire rebrousser chemin immédiatement et retombent plus rapidement que les précédents, en produisant néanmoins le même travail, théoriquement.

Quelle que soit celle de ces deux catégories à laquelle appartienne un marteau, le travail de chacun de ses coups peut toujours être représenté par P$h$, expression dans laquelle $h$ représente la hauteur à laquelle tend à le faire monter l'impulsion du moteur.

En second lieu, désignant par S la surface de contact entre la base du marteau, appelée *panne*, et la pièce de métal à étirer, le travail produit par la chute du marteau sur l'unité de surface de la pièce à étirer est représenté par la formule :

$$T = \frac{Ph}{S}.$$

Si S est grand, T est très-petit, et réciproquement. Nous en concluons que, à puissance P$h$ du coup de marteau constante, la surface S de la *panne* doit être d'autant plus petite que le métal à étirer est plus dur; d'autant plus grande, au contraire, que le métal à étirer est plus tendre.

Or il peut se présenter deux cas, savoir :

Digitized by Google

Ou la levée du marteau *h* est constante et invariable, ou elle est variable.

Dans le premier cas, le travail P*h* étant constant, la surface S de la panne doit varier suivant la nature de fer à comprimer; dans le second cas, au contraire, le travail P*h* étant variable, la surface S de la panne peut être constante si on lui donne son minimum de dimension.

Quand le métal à étirer est toujours le même, comme dans les *forges* qui n'ont qu'une seule et même matière première et dans les *aciéries*, les marteaux à travail constant peuvent convenir, parce que, les poids et chute du marteau une fois adoptés, on donne à la panne la surface que comporte le métal et on les conserve indéfiniment; mais, quand le métal à étirer varie à chaque instant, il faut, ou avoir un marteau à travail constant pour chaque nature de métal, ou changer à chaque instant la panne si on n'a qu'un marteau de ce genre, ou avoir un marteau à travail variable et à surface de panne constante. Or ce dernier cas est le plus fréquent; aussi ne doit-on pas s'étonner du succès prodigieux qu'a obtenu l'admirable invention de *M. Bourdon*, du *Creusot*, à savoir : le *marteau-pilon*, qui seul, entre tous les marteaux, permet d'affecter la même surface de panne à toutes les duretés de métal à étirer.

Le *marteau-pilon* est un marteau dont le soulèvement est le résultat de l'action de la vapeur, sur un piston, en sens contraire de l'action de la pesanteur. Il résulte de ce mode de soulèvement que, quand l'introduction de vapeur cesse, le piston s'arrête immédiatement, et, lorsqu'on ouvre l'orifice d'échappement de la vapeur, le marteau tombe. Malheureusement le nombre de coups que peut donner le marteau-pilon est limité, comme nous l'avons dit, par le temps qu'exigent son soulèvement et sa chute; aussi, quelque général que soit devenu son emploi, il n'a pu être substitué aux marteaux, à soulèvement brusquement interrompu, pour l'étirage des échantillons qui, par suite de leur faible volume, conservent peu de temps le calorique qu'il est nécessaire de leur communiquer pour les étirer rapidement. On a bien essayé de mettre des *rabats* aux marteaux-pilons; mais non-seulement ces rabats n'ont qu'une action insignifiante, puisqu'il faut arrêter la force accélératrice soulevante, au moment où les marteaux les rencontrent, mais encore, comme il est impossible, sans des complications mécaniques que ne comporte pas l'appareil, de varier fréquemment leur position, leur emploi a pour effet d'annuler la propriété la plus importante du marteau-pilon, savoir : la course variable. Aussi, nous ne craignons pas de le dire, quand le marteau-pilon est à course constante, les frais de construction, de manœuvre et d'entretien qu'il comporte le rendent inférieur à tous les autres marteaux.

Laissant donc, à chaque outil, le rôle qui convient aux qualités qu'il possède, nous concluons de ce que nous venons de dire que, quand on effectue l'étirage au marteau, le nombre des coups que doit recevoir la pièce à étirer dans un temps donné doit être d'autant plus considérable que son volume est plus petit, parce que plus le volume est petit, plus le refroidissement est prompt et plus le nombre des chaudes à donner pour un même étirage est grand.

Le marteau-pilon étant, de tous les marteaux, celui qui donne, à levée égale, le moins de coups par minute, doit être exclusivement réservé aux grosses pièces ou, du moins, aux pièces à section de, au minimum, 30 centimètres carrés. Au-dessous et souvent au-dessus de cette section il est préférable d'opérer l'étirage avec les marteaux à rabats dont nous allons parler.

Les marteaux à rabats consistent généralement en une masse de métal située à l'extrémité d'un levier appelé *manche*, qui oscille de chaque côté d'un axe fixe; la course de ce marteau ne s'effectue donc jamais en ligne droite, mais en arc de cercle d'autant plus rapproché de la ligne droite que son rayon est plus grand. Le soulèvement a lieu au moyen d'un arbre à cames agissant tantôt sur la *tête*, tantôt sur le *manche*, tantôt sur le *prolongement* du manche de l'autre côté de l'axe, suivant la nature du travail à effectuer et surtout suivant la manière dont s'effectue le *rabat*, comme nous l'allons voir.



Digitized by Google

Il y a deux manières d'effectuer le rabat du marteau à manche : la première consiste à opérer sur la tête même ou près de la tête du marteau, à l'aide d'un corps élastique; la seconde consiste à appliquer à cette opération l'élasticité même du manche. Dans le premier cas, le manche peut être rigide, mais le rabat doit être d'autant plus élastique que toute la force amortie est perdue. Ainsi, si le marteau était arrêté dans sa course ascendante par des matelas, son effet utile, en retombant, ne serait autre que celui résultant de sa chute depuis le point le plus haut où il est parvenu en comprimant le matelas. Dans le second cas, au contraire, c'est le manche qui doit être aussi élastique que possible par la même raison.

On a essayé bien des substances pour la construction des rabats et manches élastiques; jusqu'ici le *hêtre*, seul, a donné, sinon de bons résultats, car il casse fréquemment, du moins les meilleurs résultats. Le *frêne* conviendrait bien aussi, mais le diamètre qu'il faut donner aux manches élastiques est tel, que, en France, les manches de frêne coûteraient un prix exorbitant.

Nous n'en dirons pas plus long pour le moment sur les marteaux, devant y revenir fréquemment dans le cours de la fabrication proprement dite.

### § 2. De l'étirage au laminoir.

L'étirage au *laminoir* diffère de l'étirage au *marteau* en ce que la compression que subit le métal n'est pas déterminée par son plus ou moins de résistance à la pression, mais par l'écartement des cylindres entre lesquels il passe.

Ole diamètre des cylindres étant donné, ces derniers ont une résistance à la rupture que non-seulement il ne faut pas dépasser, mais qu'encore il ne faut pas atteindre; cette résistance est, à son *maximum*, aux extrémités et, à son *minimum*, au milieu de la longueur; le travail des cylindres étireurs doit donc, autant que possible, être moindre dans les cannelures du milieu que dans celles des extrémités.

Quand un paquet sort du four pour passer au laminoir, les différentes barres dont il se compose sont censées affecter la température que comporte leur soudage; mais elles ne sont pas, pour cela, soudées. Quelques points de contact seulement les rendent adhérentes les unes aux autres; les autres points se trouvant plus ou moins distants entre eux, soit à cause de la forme irrégulière qu'elles affectent, soit à cause de la battiture liquide intercalée, la première chose à faire, pour convertir ce paquet en une seule barre, est d'opérer le plus promptement possible le rapprochement de toutes les parties de manière à les décaper, en chassant l'oxyde intercalé, et à opérer partout le contact des surfaces métalliques. Ce travail est généralement celui qui exige le plus de puissance; à cet effet, on le réserve pour celle des cannelures extrêmes des cylindres qui résiste le mieux, c'est-à-dire pour la cannelure située du côté de la force motrice qui met l'appareil en mouvement.

Quand l'étirage ne nécessite qu'une résistance modérée, on peut, sans inconvénient, mettre les unes à la suite des autres les cannelures qui doivent successivement l'opérer. Quand, au contraire, la résistance doit être forte, on met les deux premières cannelures du côté de la force motrice et les autres en sens inverse en partant de l'extrémité opposée.

La barre une fois soudée, on peut, sans inconvénient grave, modérer l'étirage au fur et à mesure que l'on entre dans les cannelures du milieu des cylindres.

Il en résulte, il est vrai, que pour certaines largeurs de barres, au lieu de les finir en une chaude, on est obligé de les finir en deux, ce qui est plus coûteux. Pour qu'il en fût autrement, il faudrait que les diamètres de tous les cylindres d'un même train fussent calculés en vue de la fabrication de ces barres, qui ne constituent souvent que la centième partie de la fabrication

Digitized by Google

totale, et alors l'intérêt de la dépense supplémentaire serait de beaucoup supérieur à celle qu'entraîne la fabrication en deux chaudes. Le mieux est, comme nous le verrons plus tard, d'avoir plusieurs trains à longueur et diamètre variés des cylindres et d'affecter à chaque train l'étirage des barres ou tôles qu'il comporte.

S'il est à peu près impossible de formuler théoriquement le travail que comporte l'étirage du fer, on peut facilement se rendre compte de celui que nécessite relativement chaque échantillon, en remarquant que :

1° Les épaisseurs des cannelures successives étant constantes, le travail à dépenser est proportionnel aux largeurs diverses qu'elles peuvent affecter ; comme, en outre, la vitesse de rotation est constante, les pressions du métal sur les cylindres sont également proportionnelles à ces largeurs. Ainsi on peut dire que, étant données deux barres de même longueur et de même épaisseur, ayant, l'une, la largeur un, l'autre la largeur dix, le travail dépensé pour l'étirage de la seconde est égal à dix fois celui qu'il a fallu pour étirer la première. Elle pèse, à la vérité, dix fois autant, ce qui réduit au même chiffre la quantité de travail dépensée par kilogr. de fer étiré ; mais, en ce qui concerne les cylindres, il est évident que ces derniers ont produit, dans le même temps, des quantités de travail qui sont entre elles comme 1 : 10;

2° Ce qui est vrai pour la largeur l'est également pour l'épaisseur ; seulement il est un autre facteur dont il faut tenir compte ; ce facteur est le refroidissement de la barre qui s'effectue d'autant plus rapidement que l'épaisseur est moindre. Il en résulte que les frais d'étirage, qui, quand on n'a égard qu'à la largeur, sont les mêmes par kilogr. de métal étiré, croissent, au contraire, assez rapidement avec la réduction d'épaisseur, car cette réduction ne peut s'obtenir à partir d'une certaine limite qu'en donnant plusieurs chaudes.

### § 3. Des effets comparés du marteau et du laminoir sur le fer.

En ce qui concerne le soudage des paquets sortant du four, on peut dire que le marteau opère, plus énergiquement que le laminoir, l'expulsion de la battiture en fusion, parce que son travail n'est pas, comme celui de ce dernier, limité par les dimensions relatives que doivent affecter le *paquet* et la *cannelure* pour que l'un entre dans l'autre. Mais, si le laminoir opère moins énergiquement, en revanche il opère infiniment plus promptement, en ce sens qu'il resserre presque instantanément toute la pièce, tandis que le marteau n'agit que sur une fraction plus ou moins grande suivant la dimension de sa panne.

Quant à l'étirage proprement dit, le laminoir fait plus régulier; si on ne l'a pas depuis longtemps substitué partout au marteau pour cette opération, c'est que beaucoup de personnes exagèrent l'effet du martelage sur la nature même du métal et, aussi parce que l'introduction du laminoir dans les forges, ayant accompagné la méthode anglaise, c'est-à-dire la fabrication du fer à la houille, beaucoup de clients sont persuadés qu'en demandant des fers martelés ils recevront plutôt des fers au bois que s'ils les demandaient laminés. Ce fait a même donné lieu, dans les forges, à une fraude dont les marchands de fer sont les seuls coupables. Cette fraude consiste à parer, au marteau, certains fers laminés destinés à des localités qui n'admettent, comme bons, que les fers martelés.

L'action du marteau sur les fers finis ne diffère absolument de celle du laminoir qu'en ce que, n'ayant pas à craindre la casse des outils, on peut finir plus froid, c'est-à-dire écrouir le métal à plus basse température. Or, quand le métal est écroui froid, son grain est plus fin et plus serré que quand il est écroui chaud. Mais, qu'on le chauffe au rouge-cerise, et il reprend la même texture que s'il avait été fini au laminoir.

Digitized by Google

Cette faculté qu'a le marteau d'écrouir le métal plus froid que le laminoir est-elle un avantage? Nous ne le pensons pas, en ce sens que le rapprochement à froid des molécules est un moyen presque aussi efficace que l'influence prolongée (page 2) d'une haute température pour produire la cristallisation. Ce fait est si palpable, qu'on peut en induire avec certitude que les métaux n'affectent l'état mou que parce qu'ils ne peuvent pas se débarrasser du calorique sensible en dissolution.

L'écrouissage, le froid et les vibrations prolongées produisent, en effet, le même résultat qu'une haute température suffisamment prolongée.

En résumé, le *marteau* et le *laminoir* peuvent être employés concurremment pour achever le *soudage*. Le marteau-pilon est préférable, même quand il s'agit de fers tendres, comme les fers de fonte au coke et les aciers à corroyer, parce qu'on peut modérer son énergie et donner des petits coups, tandis que le laminoir arrache et déchire si la ténacité de la pièce est insuffisante pour lui résister. Mais, pour *étirer*, il en est tout différemment; non-seulement le marteau coûte plus cher, mais encore il opère irrégulièrement; cependant on est très-heureux de pouvoir recourir à lui quand le laminoir est insuffisant, soit pour *prendre*, soit pour *finir* un échantillon pour lequel il n'a pas toutes les cannelures convenables.

# SECTION II.

## DE LA GÉNÉRATION DU FER BRUT.

Les matières premières de la fabrication du fer brut sont :

Les oxydes de fer,
Les fontes,
Les ferrailles.

Quand on soumet ces trois espèces de matières premières à l'action d'une haute température, la *première* ne devient *fer* qu'autant qu'elle est en contact avec du carbone d'une part, et de l'autre à l'abri du contact de l'*air* et de l'*acide carbonique* d'autre part; la *seconde* se convertit en *fer* au simple contact de l'air et ne comporte l'addition de décarburant qu'autant qu'on veut accélérer l'opération; la *troisième*, étant du fer, n'a besoin que d'être préservée du contact de l'air et de l'acide carbonique.

Lors donc qu'on traite ces matières isolément, il en est deux qui redoutent le contact des *gaz comburants* et une qui semble en nécessiter la présence. Mais, si on observe que, une fois convertie en fer, la fonte se trouve dans les mêmes conditions que la ferraille, on reconnaît immédiatement que, dans aucun cas, la préférence des gaz comburants libres n'est nécessaire et que, pour obtenir du fer brut, il faut ne les employer qu'à l'état de combinaison indécomposable par le métal.

Or les carbonates sont tous décomposables par la température; les employer comme réactifs, dans la fabrication du fer, est la même chose qu'employer l'acide carbonique pur. Il résulte de là que, quand l'addition d'un corps comburant est nécessaire à la réaction, il convient de n'em-

Digitized by Google

ployer que les oxydes fixes, indécomposables par le fer et décomposables par le charbon, l'oxyde de fer lui-même par exemple.

Le *carbone* se trouvant réactif indispensable pour la réduction de l'*oxyde de fer* et l'*oxyde de fer* se trouvant réactif indispensable pour la décarburation de la *fonte*, ces deux matières, mélangées ensemble, donnent du fer sans addition d'aucun autre corps, et comme la ferraille est elle-même du fer, il semble, au premier abord, que, pour obtenir le métal, il suffit de chauffer ensemble ces trois matières mélangées en proportions convenables. Il n'en est cependant pas ainsi; une réaction, telle que celle que nous venons de décrire, ne peut réussir qu'en vase clos et nécessite une température très-élevée; c'est dire qu'elle ne peut s'effectuer que dans des *creusets* soumis à un feu violent, comme pour la fusion de l'acier. Or, la fusion de l'*acier* coûte au moins 15 fr. par 100 kilogr. quand le creuset a été rempli de métal ayant en morceaux une densité de 4.

En admettant que le mélange *oxyde*, *fonte* et *ferraille* eût la même densité, le chauffage ne coûterait pas moins que le précédent. Les méthodes de fabrication du fer brut, généralement employées, livrent ce dernier, en barres, à raison de 6 fr., 20 fr. et 36 fr. par 100 kilogr. pour les frais de conversion en métal, suivant la matière et le mode de traitement employé.

Nous ne voulons pas anéantir les idées de progrès, aussi dirons-nous : si, en traitant les matières mélangées en vase clos, les frais de chauffage, serrage et étirage ne dépassent pas de beaucoup 15 fr. et si le métal obtenu est de la qualité de celui qui coûte 20 fr. ou 36 fr. d'affinage par 100 kilogr., le procédé est bon; mais, si le métal obtenu est inférieur à celui qui ne coûte que 6 fr. d'affinage par 100 kilogr., le procédé est mauvais.

De nombreuses tentatives ont été faites en vue de ce genre de fabrication; toutes ont échoué, surtout quand, au lieu du fer, elles ont eu pour but la fabrication de l'acier. Nous avons dit (page 24) pourquoi elles ont échoué, dans ce dernier cas, nous n'y reviendrons pas. Pour le fer, il est probable que la non-réussite est due autant aux frais qu'entraîne l'opération qu'à la qualité du métal obtenu.

D'abord, quand on emploie un oxyde de fer naturel, c'est-à-dire un minerai, on ne sait jamais au juste quelle est sa composition, à moins d'en faire fréquemment l'analyse; pour la fonte, c'est encore pis. En outre, il faut du fondant pour liquéfier la gangue, et, si elle est abondante, elle mange les creusets et les rend incapables de faire plus d'une ou deux charges.

Toutes ces raisons font que la génération du fer brut, en vases clos, n'a pas, jusqu'à ce jour, été pratiquement possible, et qu'elle est soumise à tous les inconvénients qui résultent de la présence inévitable des gaz comburants.

Il résulte de là que :

La *fonte* n'est jamais employée comme réactif dans la conversion du *minerai de fer* en fer *brut*.

Le *minerai de fer* est quelquefois employé comme réactif dans la conversion de la *fonte* en *fer brut*, mais il faut, pour cela, qu'il soit très-pur. On lui préfère les oxydes du métal qui sont la conséquence forcée de la fabrication à l'air libre, et qu'on rencontre abondamment dans les forges, soit purs, soit combinés à la silice. La ferraille, au contraire, s'emploie très-avantageusement, comme réactif, pour la décarburation de la fonte, en ce sens que, en se convertissant en acier, elle augmente l'étendue des surfaces de décarburation du métal et accélère l'opération.

Il n'y a donc, réellement, que trois modes de traitement des matières premières propres à la fabrication du fer, pour les convertir en fer brut, savoir :

1° Traitement du minerai;

2° Traitement de la fonte;

3° Traitement de la ferraille.

Digitized by Google

Chacun de ces modes de traitement donne lieu à un ou plusieurs procédés de fabrication, suivant la qualité des matières premières employées et la nature du produit auquel elles sont destinées. Nous n'entendons pas dire par là qu'il existe un procédé pour la conversion, en *fer brut*, de tout ce qui porte le nom de *minerai, fonte* ou *ferraille*, mais seulement que, si le nombre des modes de traitement est limité, celui des procédés ne l'est pas et tend sans cesse à restreindre celui des variétés de matières premières qu'ils sont forcés d'éliminer. Disons de suite que ce qui reste à faire, sous ce rapport, n'est pas considérable : le fer est un métal si utile, et tant d'hommes lui ont consacré leur existence, qu'il reste peu à glaner en fait de procédés nouveaux. Cependant il ne convient pas de décourager les inventeurs, et le meilleur moyen de favoriser les inventions réelles est de mettre en évidence ce qui est trouvé et ce qui manque. C'est ce que nous allons essayer de faire ici. A cet effet, nous diviserons cette section en cinq titres principaux, savoir :

Titre I^er^. — Matières premières.
Titre II. — Affinage.
Titre III. — Soudage.
Titre IV. — Étirage.
Titre V. — Classification des fers bruts.

# TITRE I^er^.

## MATIÈRES PREMIÈRES.

## CHAPITRE I^er^.

### OXYDES DE FER.

Les oxydes de fer employés à la fabrication du fer brut sont tantôt *naturels*, tantôt *artificiels*.

Les *oxydes de fer naturels* ou *minerais de fer* ont, avons-nous dit (page 80), une richesse qui varie entre 20 et 70 pour 100 en poids. Si les hauts fourneaux n'avaient pas été inventés pour le traitement des minerais pauvres, il y aurait matière à procédés nouveaux pour la conversion directe des minerais en fer ; car on n'emploie jusqu'à ce jour, pour cette opération, que des minerais riches, et, franchement, il serait bien inutile d'en employer d'autres, en regard des magnifiques résultats que donne le traitement des minerais pauvres dans les hauts fourneaux. Mais, s'il n'y a rien à faire en ce qui concerne la richesse du minerai, il pourrait peut-être y avoir à faire en ce qui concerne sa nature, car le *procédé catalan*, qui est spécialement affecté à la fabrication du fer, au moyen des minerais, n'exige pas seulement que les minerais soient riches, il veut encore qu'ils soient *compactes* ou en *roches* suffisamment fusibles, ce qui réduit à un petit nombre ceux qui conviennent pour la conversion directe de l'oxyde de fer en métal.

Il en résulte que tous les minerais en grains ou terreux, quelque riches qu'ils soient, ou sont délaissés, quand il n'y a pas de hauts fourneaux dans le pays où ils se trouvent, ou sont envoyés

Digitized by Google

aux hauts fourneaux pour être convertis en fonte. Nous avons signalé (page 59) les tentatives qui ont été faites à différentes époques, et notamment, dans ces derniers temps, par M. *Paillet*, pour les traiter au four à puddler, ainsi que le peu de succès de ces tentatives. On les emploie, en beaucoup d'endroits, comme réactifs dans le traitement de la fonte; mais alors se présentent d'autres inconvénients; les minerais apportent avec eux de la silice qui donne naissance à des laitiers acides, lesquels s'emparent de l'oxyde et l'empêchent de servir à la décarburation. En outre, quand les fontes sont sulfuro-phosphoreuses, comme les fontes au coke, le peu qu'ils leur donnent de métal contribue bien à améliorer leur qualité à froid, mais diminue celle à chaud, ce qui autorise à supposer que les laitiers ont plus d'influence sur le phosphore que sur le soufre. Quelle que soit, du reste, leur action sur le métal, il est positif que, quand on substitue, dans le *puddlage* de la fonte, des oxydes naturels riches aux scories douces de la fabrication, le déchet diminue de 1 pour 100 environ; la texture devient nerveuse et très-satisfaisante, mais les fers sont infiniment plus tendres à chaud, et, par cette raison, plus difficiles à fabriquer. Aussi l'économie que l'on réalise au puddlage est-elle largement compensée par le déchet de la fabrication des fers finis et les rebuts du magasin.

Voilà où en sont les choses en ce qui concerne les minerais riches.

Les *oxydes de fer artificiels* sont de trois espèces. La plus riche est ce qu'on nomme la *battiture* ou *paille de fer*, qui tombe du métal pendant son étirage à l'air libre, tant que sa température est supérieure au rouge brun; viennent ensuite les *scories douces* ou *crasses* liquides qui s'échappent du métal à la fin de l'*affinage* et pendant le *serrage*. Ces scories sont un silicate de fer contenant une plus ou moins forte proportion d'oxyde en dissolution. La troisième espèce se nomme *scorie crue* et se forme au commencement de l'affinage. Cette dernière, qui est un silicate tantôt neutre, tantôt acide, est identique avec celui auquel donne lieu l'emploi des minerais comme réactifs, dans la décarburation de la fonte. Elle constitue aussi la majeure partie des laitiers qui coulent des fours à souder le fer. On la distingue là des scories douces qui en coulent aussi à sa grande liquidité. Ces scories inutiles sont éliminées avec soin et servent à ferrer les routes dans les environs des usines à fer. Cependant, comme elles contiennent plus de fer et sont plus fusibles que certains minerais pauvres traités dans les hauts fourneaux, certains propriétaires de ces appareils les y emploient quelquefois avec avantage en place de minerai.

Il existe à *Givors* deux usines de hauts fourneaux, fermées aujourd'hui, qui non-seulement ramassaient, mais encore achetaient toutes les crasses provenant des forges du bassin de la Loire. Nous comprenons cette opération quand il s'agit des crasses qui proviennent toutes de fontes fines; mais nous ne la comprenons pas quand les crasses proviennent d'usines où la fonte au coke est la matière première principale de la fabrication. Les scories crues, de fours à puddler les fontes au coke, ne valent absolument rien pour les hauts fourneaux; le coke apporte par lui-même bien assez de soufre sans que, encore, la matière première vienne en ajouter.

---

## CHAPITRE II.

### FONTES.

Les fontes se divisent en :

Fontes *neuves* et *vieilles* fontes.

Les *fontes neuves* sont celles qui proviennent directement des hauts fourneaux.

Digitized by Google

Les *vieilles fontes* sont celles qui proviennent soit de l'intérieur de l'usine à l'état de pièces *cassées* ou *brûlées*, soit de l'extérieur, affectant un grand nombre de variétés différentes.

### § 1er. Des fontes neuves.

En général, les fontes neuves, destinées à la fabrication du fer, sont aussi peu carburées que possible, non-seulement parce qu'il y a économie de combustible dans leur fabrication au haut fourneau, mais encore parce qu'elles ne contiennent qu'en petite quantité les matières étrangères que le métal dissout à la faveur du carbone. Il est vrai de dire que, si ce dernier motif était le seul qui fît préférer l'allure *froide* à l'allure *chaude* pour les fontes d'affinage, les forges, qui achètent leurs fontes, recevraient plus souvent des fontes de moulage que des fontes d'affinage, ce qui serait désastreux; mais heureusement, si l'allure froide ne permet pas de vendre, comme fonte, un produit surchargé de silicium, de phosphure et de sulfure de fer, elle a l'avantage, tout en économisant le combustible, d'augmenter la production dans une proportion notable.

On divise les fontes neuves en trois classes, savoir :

1re *classe*. — Fontes fines.
2e *classe*. — Fontes métisses.
3e *classe*. — Fontes au coke.

#### *Des fontes de la 1re classe.*

Ces fontes proviennent toutes de hauts fourneaux au charbon de bois et de minerais ne renfermant, en fait de matières étrangères, que le *silicium* et une très-minime proportion de *phosphore* ou de *soufre*.

Les fers qui en proviennent sont première qualité, comme fers *à nerfs*.

Quand il n'y a ni *phosphore* ni *soufre*, ils sont première qualité à *grain* et conviennent pour la fabrication de l'*acier;* il est même quelques-uns de ces fers qui, contenant soit du soufre, soit du sulfure de cuivre, sont employés avec succès dans la fabrication des aciers communs; leur seul défaut est de gercer sur les bords, quand on les passe au polisseur. En revanche, il n'est pas une seule fonte qui, contenant même des traces de phosphore, puisse être affectée à la fabrication de l'*acier*.

Comme types des fontes fines se rencontrant sur les marchés français, on peut citer :

1° Les fontes de *Corse*, avec minerai d'*Algérie*, bonnes pour *fer à grain;*

2° Les fontes de *Savoie*, qui, malgré une faible proportion de pyrite cuivreuse, sont bonnes pour *fer à grain;*

3° Les fontes grises de *Baigorry* (Basses-Pyrénées), bonnes pour *fer à grain;*

4° Les fontes de *Corse*, avec minerai de l'*île d'Elbe*, bonnes pour *fer à nerf;*

5° Les fontes des *Basses-Pyrénées*, avec minerai de *Bilbao* (Espagne), bonnes pour *fer à nerf;*

6° Les fontes du *Périgord*, bonnes pour *fer à nerf* en général, et, en quelques points, pour *fer à grain;*

7° Les fontes de *Franche-Comté*, bonnes pour *fer à nerf;*

8° Les fontes du *Berry*, bonnes pour *fer à nerf*.

Nota. Nous désignons par *bonnes pour fer à nerf* les fontes dont les fers ont plus de propension pour le nerf que pour le grain; cela ne veut pas dire qu'on ne puisse, en réglant l'affinage convenablement, les obtenir *à grain*.

Digitized by Google

Toutes ces fontes conviennent pour la fabrication des *fers* et *tôles* dits *forgés* et *fers forts, à nerf* ou *à grain*.

*Des fontes de la 2e classe.*

Ces fontes, que l'on rencontre principalement dans les forges de la *Haute-Marne*, proviennent toutes de hauts fourneaux au charbon de bois et de minerais plus ou moins phosphoreux.

Les fers qui en proviennent sont tantôt *nerveux*, tantôt *cassants à froid*, tantôt intermédiaires entre ces deux qualités. En général, les fontes blanches donnent des fers plus nerveux que les fontes truitées, et les fontes truitées que les fontes grises; cela ressort de ce que nous avons dit (page 52) concernant la présence du phosphore. Une seule chose nous étonne, c'est que ces fontes, qui sont toutes coulées en sable crayeux, puissent être *blanches*, quoique n'accusant nullement la présence du soufre. Nous exceptons, bien entendu, les fontes provenant de hauts fourneaux où on mélange du coke avec le charbon de bois, hauts fourneaux dont le nombre augmente malheureusement tous les jours.

Comme le phénomène relaté ci-dessus a lieu, même pour les fontes supérieures peu carburées, il faut en conclure que le soufre n'est pas le seul corps étranger qui favorise la cristallisation du carbone au moment de la solidification de la fonte.

Les fontes de la 2e classe, affinées pures, conviennent particulièrement pour la fabrication du fer *maréchal* et des tôles *métisses*.

*Des fontes de la 3e classe.*

Ces fontes proviennent toutes de hauts fourneaux au coke, et, autant que possible, de minerais légèrement phosphoreux. Quand elles contiennent le phosphore en quantité insuffisante, les fers qui en proviennent sont insoudables à l'affinage et criquent à l'étirage; ils ont, du reste, à froid, une texture assez satisfaisante. Quand elles contiennent le phosphore en excès, les fers qui en proviennent sont assez bons à chaud, mais cassants à froid, et accusant une texture à facettes.

Le premier de ces défauts est à peu près sans remède. Nous nous rappelons que, il y a dix ans environ, on nous offrait, à 6 fr. les 100 kilog., de la fonte de *Périgord* au coke, c'est-à-dire sulfureuse sans phosphore; la fonte ordinaire coûtait 12 fr.; il y avait donc grand avantage à pouvoir en tirer parti; eh bien, le déchet était si considérable, qu'il fallut y renoncer. Aujourd'hui, pareil cas se présenterait, nous n'hésiterions pas à la puddler avec quantité égale de fonte de Champagne *grise, Louvemont*, par exemple.

Le second de ces défauts, quoique sans remède, est devenu depuis vingt ans presque une qualité; en effet, en donnant au métal une forte section, il convient très-bien pour la fabrication des *rails* des chemins de fer, parce que, très-tendre à chaud, il soude parfaitement et, cassant à froid, il n'est jamais nerveux, ne s'exfolie pas et ne se déforme pas sous l'action des trains en roulement. Les fers des fontes au coke conviennent aussi pour la fabrication des tôles qualité très-inférieure, telles que gazomètres et tuyaux de poêles.

Quand les proportions de phosphore et de soufre sont ce qu'elles doivent être comme dans les fontes de *M. Hamoir*, à *Maubeuge*, les fers de fonte au coke sont assez bons à chaud pour supporter le laminage sans criquer, et assez bons à froid pour servir à la fabrication du fer marchand et de la tôle ordinaires. Il ne faut même qu'une très-petite addition de fonte de Champagne, à l'affinage, pour les rendre propres à la fabrication du fer *maréchal*.

§ 2. Des vieilles fontes.

On compte, au moins, dix espèces de vieilles fontes à trier et à classer séparément dans les



Digitized by Google

chantiers de matières premières, soit parce qu'elles exigent des modes d'affinage différents, soit parce qu'elles donnent des fers de qualités différentes, savoir :

1° Les *grosses fontes mécaniques*, provenant de pièces, de deuxième fusion, qui n'ont pas été altérées par le feu, et pouvant être employées à la *fonderie de fonte*, en mélange avec des fontes neuves, fortement carburées, anglaises ou autres ;

2° Les *fontes mécaniques ordinaires* et *boîtes de roues*, presque toujours bonnes pour la fonderie, comme les précédentes, mais pouvant, néanmoins, être affinées pour fer, au besoin ;

3° Les *grosses fontes mécaniques inférieures*, bonnes à casser pour l'affinage ;

4° Les *petites fontes mécaniques inférieures*, telles que poids et tuyaux, bonnes à affiner telles quelles ou cassées à la masse ;

5° Les fontes *marmites*, telles que vieilles marmites, casseroles, fourneaux de cuisine, calorifères, non brûlées, provenant, le plus généralement, à cause de leur faible épaisseur (page 52), de fontes grises ou blanches de Champagne ;

6° Les fontes *lests de navires*, de qualités très-variables ;

7° Les fontes *légèrement brûlées ;*

8° Les fontes *fortement brûlées ;*

9° Les *carcas* de fonderies ;

10° Les *boulets*, de qualités très-variables, souvent inemployables.

---

## CHAPITRE III.

### FERRAILLES.

Les ferrailles sont des morceaux, plus ou moins volumineux, de fer rebuté et provenant soit de la fabrication, auquel cas on leur donne le nom de *riblons*, soit du dehors, auquel cas on les désigne sous le nom de *vieilles ferrailles*.

On les divise en trois espèces, savoir :

1° Les ferrailles et riblons bons à traiter au *feu soufflé*, soit purs, soit mélangés avec la fonte, dits *riblons fins ;*

2° Les ferrailles et riblons bons à *lopiner ;*

3° Les ferrailles et riblons impropres aux deux usages précédents, dits *ferrailles inférieures.*

On donne, en outre, le nom de ferrailles choisies aux ferrailles venues du dehors et qui, par leur forme ou l'usage auquel elles ont été employées, font supposer qu'elles sont de qualité supérieure et propres soit à l'affinage au feu soufflé, soit au lopinage pour qualités supérieures.

Comme, en général, les riblons fins et les ferrailles choisies conviennent tous pour le lopinage et, suivant les besoins, y sont employés aussi bien qu'au feu d'affinerie, nous ne considérerons que deux espèces de ferrailles, savoir :

Les ferrailles et riblons propres au lopinage,

Les ferrailles et riblons impropres au lopinage.

Ce qui ne nous empêchera pas de spécifier, en les décrivant, les autres qualités qu'elles peuvent avoir.

#### § 1er. Des ferrailles et riblons propres au lopinage.

Il existe, au moins, dix variétés de ferrailles et riblons, propres au lopinage, qui se classent d'après la *qualité*, la *forme* et la *grosseur* des morceaux.

La *forme* est un indice assez certain de la qualité de la matière ; la *grosseur* est un indice du

Digitized by Google

déchet que la matière subira dans l'opération du soudage; plus les pièces sont grosses, moins elles font de déchet.

De même qu'il y a quatre qualités de fer, de même aussi il y a quatre qualités principales de ferrailles caractérisées, d'une manière probable, par les formes qu'elles affectent. Ainsi, les pièces qui, par leur forme, accusent un service où la ténacité est de rigueur sont nécessairement en fer *bon à froid;* si à cet indice elles joignent une tournure qui a dû nécessiter de nombreuses chaudes à la *forge à fer ouvré* qui les a confectionnées, on peut être certain qu'elles sont en fer *bon à chaud.*

Réciproquement, si leur forme est simple et n'a nécessité qu'un coudage peu énergique à chaud, on doit supposer (on peut se tromper néanmoins) que ces pièces sont en fer de qualité *médiocre,* sinon *mauvaise à chaud.*

De même les pièces qui, par leur forme, accusent un service où la ténacité n'est pas de rigueur doivent être supposées en fer *médiocre à froid;* si à cet indice elles joignent une tournure qui a dû nécessiter de nombreuses chaudes à la forge à fer ouvré, on peut être certain qu'elles sont en fer *bon à chaud;* si, au contraire, elles sont de confection facile, il est probable que leur qualité est *médiocre,* sinon *mauvaise à chaud.*

La forme concourt jusqu'à un certain point avec la grosseur pour permettre d'évaluer le déchet probable; plus il y a de surface pour un volume donné, plus il y a de déchet au soudage. La *sphère* et la *tôle fine* constituent les deux extrêmes dans la question du déchet dépendant de la forme.

Voici les dix principales variétés de ferrailles à lopiner :

1° Les gros bouts,
2° Le gros bidon,
3° Le moyen bidon,
4° Le petit bidon,
5° Les tortillards,
6° Le grain ordinaire,
7° Les cercles ployés,
8° Les déchets de perles,
9° Les rognures de grosse tôle,
10° Les fers brûlés.

1° *Gros bouts.* — Les gros bouts sont des pièces de fer pesant au moins 0k.500 et provenant soit de déchets de forges à fer ouvré, soit de machines, de vieux bandages, de vieux rails, etc.

Cette ferraille doit toujours affecter des formes qui la rendent propre à entrer dans la composition des lopins, soit telle qu'on la reçoit, soit après découpage à la cisaille, soit enfin par l'addition de ferrailles menues pour remplir les vides. Toute ferraille qui, par sa forme, doit entraîner à des frais notables pour pouvoir être employée au lopinage a nécessairement une valeur moindre que celle qui peut s'employer telle quelle.

Les gros bouts sont, de toutes les ferrailles, celle où il y a le plus de variation dans la qualité; aussi est-il toujours nécessaire de les trier avant de les employer.

2°, 3°, 4° *Bidons.* — Les bidons ne diffèrent des gros bouts que par le poids des morceaux, qui varient entre 0k.025 et 0k.500, savoir :

| | Limite supérieure. | Limite inférieure. |
|---|---|---|
| Gros bidon. . . . . | 0k.500 | 0k.200 |
| Moyen bidon. . . . . | 0k.200 | 0k.100 |
| Petit bidon. . . . . | 0k.100 | 0k.025 |

Digitized by Google

Plus le poids du bidon diminue, plus la qualité du fer augmente et s'homogénéifie; mais aussi plus le déchet, au soudage, augmente. Cela suppose que le *petit bidon* n'est pas mélangé de *grain* qui, comme nous le verrons plus loin, contient des découpures de tôles fines de toutes qualités.

Le bidon est l'âme des lopins de ferrailles; suivant la destination de ces derniers, on les mélange avec un peu de gros bouts ou avec des tortillards.

5° *Tortillards.*— Les tortillards sont des pièces provenant de petits fers ronds ou carrés, n'ayant pas plus de 5 à 6 millimètres de diamètre, telles que : *anses de seaux, ressorts à boudin, gros fils de fer,* etc.

Les tortillards s'emploient avantageusement, en mélange avec le moyen et le petit bidon, dans les lopins enveloppés de tôles, pour relier les extrémités des lopins et les empêcher de se séparer, en deux, quand on les passe au laminoir.

6° *Grain ordinaire.* — Le grain ordinaire se compose de tous les ramassis de petits morceaux de fer d'origines diverses. Comme il pèse moins de 0k.025, on y rencontre des enlevages au poinçon et des rognures de cisaille faits dans des tôles fines de fer et aciers divers.

Le grand inconvénient de cette ferraille est d'être impure et de contenir du *zinc,* du *laiton,* du *plomb,* de l'*étain,* et une foule d'autres substances tant organiques qu'inorganiques qui nécessitent un triage minutieux et tout à fait en disproportion avec la valeur de la ferraille. Aussi le grain est-il généralement redouté, et, comme pur, il est presque invendable, les ferrailleurs le glissent tant qu'ils peuvent dans le petit bidon.

7° *Cercles ployés.* — Les cercles sont une variété de ferraille qui se trouve toujours isolée des autres; elle provient de seaux et de tonneaux hors de service. Comme les cercles sont faits avec des feuillards minces, échantillon qui nécessite toujours de la qualité, on est certain, en les employant, qu'on a une matière homogène et bonne pour nerf. L'usage de les ployer, adopté par les marchands de ferraille, afin qu'ils occupent moins de place dans les tonneaux qui servent à les expédier, fait qu'ils entrent directement dans les lopins sans main-d'œuvre préparatoire. Malheureusement, comme ils sont toujours fort rouillés, ils font un grand déchet au soudage; aussi les emploie-t-on assez indifféremment soit ployés au lopinage, soit ouverts au soudage en *vrac.*

8° *Déchets de perles.* — Les déchets de perles d'acier sont des tôles fines décapées de première qualité, ayant de 1/2 à 3/4 de millimètre d'épaisseur, percées d'une infinité de petits trous. Ces tôles, ayant des dimensions exactes, s'assemblent comme des jeux de cartes, et, maintenues par trois liens en fer, constituent des lopins très-réguliers. Mais, comme au soudage (page 27) elles se convertissent en fer brûlé, elles ne conviennent que pour échantillons qui doivent être recuits en vase clos, tels que tôles à fer-blanc, par exemple. Pour éviter en partie l'effet de l'oxygène, on les lopine entre deux barres de fer de qualité égale à la leur.

9° *Rognures de grosses tôles.* — Les rognures de grosses tôles sont des débris de vieilles chaudières ou de bateaux que l'on découpe à la cisaille et qu'on dresse au marteau-pilon. Elles se lopinent ensuite comme les autres ferrailles et s'emploient très-avantageusement soit pour le fer marchand, soit pour la tôle.

La qualité des rognures de grosses tôles est assez variable; mais, comme elle n'est jamais inférieure à celle du fer marchand ou de la tôle ordinaire, on ne se donne pas la peine de les trier et on ne les emploie que pour l'un ou l'autre de ces échantillons.

10° *Fers brûlés.* — Les fers brûlés sont généralement des bouts de *ringards* et de *barreaux de grilles* fabriqués dans l'usine même, et dont on connaît la qualité.

Pour tirer un bon parti de ces fers, il faudrait les recuire en vase clos, ce qu'on ne fait pas, parce que cela coûte trop cher. Comme ils se lopinent très-facilement, on les écoule dans les lopins ordinaires en petite quantité à la fois.

Digitized by Google

§ 2. Des ferrailles impropres au lopinage.

On donne ce nom aux ferrailles qui non-seulement entreraient difficilement dans les lopins sans l'usage de la presse hydraulique ou du marteau-pilon, mais encore occasionneraient au soudage un déchet plus considérable que traitées telles qu'elles et directement.

Ces ferrailles, qui occupent toutes un grand volume pour un petit poids de matières, tantôt se jettent dans les appareils d'affinage avec la fonte dont elles accélèrent la décarburation, tantôt se projettent en masse dans un four à souder et se réunissent en boule avec un ringard, après quelques minutes d'un violent coup de feu.

On en considère dix variétés principales, savoir :

1° Grosses tournures de fer;
2° Menues tournures de fer;
3° Tortillards inlopinables;
4° Cercles en morceaux;
5° Petit grain, déchet de dés, grain de clous;
6° Rognures neuves de tôles fines, qualité supérieure;
7° Rognures neuves de tôles fines communes;
8° Vieilles tôles minces rouillées;
9° Fils de cardes;
10° Criblures de balayages.

1°, 2° *Tournures de fer.* — Les tournures de fer sont des copeaux en tire-bouchons de diverses grosseurs et de diverses qualités. Les unes sont neuves, les autres sont rouillées, suivant le temps qu'elles ont séjourné dans les ateliers de construction.

Quand elles sont neuves et suffisamment grosses, elles sont bonnes à souder en vrac; quand elles sont menues et rouillées, elles sont bonnes à jeter sur la fonte au coke, dans les fours à puddler.

3°, 4°, 5° *Tortillards, cercles et petits grains.* — Ces trois matières, bonnes à souder en vrac et simultanément, sont des rebuts du lopinage.

6°, 7° *Rognures neuves de tôles fines.* — Les rognures neuves provenant du cisaillage des tôles fines s'emploient, autant que possible, au lopinage, entre deux plaques de fer brut de même qualité qu'elles. Celles que l'on soude en vrac sont, comme l'article précédent, des rebuts du lopinage qu'il serait trop long de dresser pour les y utiliser.

8° *Vieilles tôles minces rouillées.* — Ce sont des résidus de tuyaux de poêles, calorifères, et, en général, de tous objets en tôles fines communes, à moitié brûlées et bonnes à souder seules en *vrac*.

9° *Fils de cardes, perruques, pots.* — Ce sont des déchets de la fabrication des cardes, que l'on trouve dans le commerce, tantôt empilés dans des tonneaux, tantôt en boules agglomérées à la main, tantôt en paquets comprimés dans des moules.

Ces déchets, qui proviennent toujours de fers de qualité supérieure, sont, avec le grain de clou, ce qu'il est le plus difficile de traiter isolément. Le meilleur usage que l'on puisse faire du grain de clou est de le jeter dans le four à puddler ou dans les creusets à fondre les aciers communs. Quant aux fils de cardes, on les soude en vrac, mais ils font beaucoup de déchet.

10° *Criblures de balayage.* — Ce sont des milliers de petits morceaux de fer qui se détachent des bavures et pailles que présentent toujours les barres de fer brut au sortir du laminoir.

Digitized by Google

La meilleure manière de les utiliser est de les jeter dans les fours à puddler les fontes communes.

# TITRE II.

## DE L'AFFINAGE.

Des trois matières premières qui servent à la fabrication du fer brut, il n'y en a que deux qui ont besoin de subir un affinage pour devenir fer. La ferraille, quelle que soit sa nature, ne comporte qu'un soudage et un étirage. Cependant il est un mode de traitement de la ferraille, pour la convertir en fer brut, qui est un véritable affinage, en ce sens qu'avant de constituer, comme les autres, une boule *suante* qui n'attend plus que le *serrage* pour être complétement soudée en un masseau bon à étirer, elle devient successivement *acier cémenté*, *acier fondu* et *fer*. Il y a donc un procédé d'affinage de la ferraille qui appartient au présent TITRE et un autre qui appartient au TITRE suivant. Mais, comme l'affinage a lieu, quelle que soit la matière première, à la température du soudage, et ne laisse plus à considérer, dans le *soudage*, que le *serrage* des *boules* de fer brut, nous comprendrons, dans le présent TITRE, toutes les opérations ayant pour but la conversion de la matière première en une boule de *fer brut* suante et prête à *serrer*. Nous aurons alors à passer en revue cinq procédés de fabrication de fer brut, savoir :

1° Traitement du *minerai de fer* dans le *foyer catalan;*
2° Traitement de la *fonte* au *feu soufflé;*
3° Traitement de la *fonte* au *four à réverbère;*
4° Traitement de la *ferraille* au *feu soufflé;*
5° Traitement de la *ferraille* au *four à réverbère.*

Étant entendu que, en ce qui concerne la ferraille, il n'est question ici que de la ferraille en *vrac*, la ferraille en *lopins* étant exclusivement affectée à la fabrication du fer ébauché, et même du fer fini.

## CHAPITRE PREMIER.

### DU TRAITEMENT DU MINERAI DE FER DANS LE FOYER CATALAN.

Nous avons dit (page 61) que le traitement du minerai de fer au *foyer catalan* diffère de son traitement dans le haut fourneau en ce que, quand il est converti en *acier fondu*, il coule dans un milieu décarburant qui le convertit en *fer*, tandis que, dans le haut fourneau, il continue à rester en contact avec le *carbone* et se convertit en *fonte*. Nous allons maintenant décrire le procédé tel qu'il se pratique.

On distingue quatre méthodes de traitement du minerai pour le convertir directement en fer, savoir :

Digitized by Google

1° La méthode *catalane* des Pyrénées,
2° La méthode *navarraise*,
3° La méthode *biscayenne*,
4° La méthode *italienne*.

Ces quatre méthodes diffèrent entre elles principalement par les formes et dimensions du creuset, l'inclinaison des tuyères, la charge, etc.

Ainsi, d'après M. *Landrin* (*Manuel du maître de forges*), les charges sont :

| | |
|---|---|
| En Catalogne. . . . . | 150 à 200 kilog. |
| En Navarre. . . . . | 250 à 300 |
| En Biscaye. . . . . | 350 à 400 |

Et les rendements :

| | | |
|---|---|---|
| En Catalogne. . . . . | de 50 à 70 kilog., | soit 33 à 35 pour 100. |
| En Navarre. . . . . | de 85 à 110 | 34 à 36.75 |
| En Biscaye. . . . . | de 130 à 150 | 37 à 38 |

D'après M. *Richard* (*Étude sur l'art d'extraire immédiatement le fer de ses minerais*), les forges à la catalane établies dans l'*Ariége* et les *Pyrénées-Orientales* chargent 487 kilog. de minerai et 517 kilog. de charbon de bois qui rendent 150 kilog. de fer en barres, soit, pour 100 kilog. de fer :

| | |
|---|---|
| Minerai. . . . . | 324k.60 |
| Charbon de bois . . . . . | 344k.92 |

Le rendement ne serait donc que de 31 pour 100 environ, ce qu'il faut attribuer à l'infériorité de nos minerais.

Une forge *catalane* se compose de trois appareils principaux, savoir : le *foyer*, la *soufflerie* et le *marteau*.

Le *foyer* (fig. 1, 2, 3, pl. 22) est une espèce de creuset dont le fond est au niveau du sol de l'usine et dont les parois latérales, intégralement en fer, sauf une, sont appuyées contre des remblais faits soit en maçonnerie, soit en terre.

Une des conditions principales à satisfaire dans la construction d'un foyer catalan est de le tenir aussi à l'abri de l'humidité que possible. Quand, par suite de négligence ou autrement, l'eau a le moindre accès dans la maçonnerie qui avoisine le feu, non-seulement le travail se fait mal, mais encore la consommation en combustible augmente dans une très-forte proportion.

Les cinq faces du creuset ont chacune un nom spécial, et on les distingue en *fonds*, *laiterol*, *côté des porges*, *ore* et *cave*.

Le *fonds* A se compose d'une pierre réfractaire comprise entre les quatre faces latérales; comme, de toutes les parois, c'est celle qui craint le plus l'humidité, on l'en garantit en l'établissant au-dessus de caniveaux souterrains qui ont un écoulement assuré. Il est presque carré et généralement concave pour faciliter la réunion des particules métalliques.

Le *laiterol* B, dit aussi face du travail, parce que c'est devant lui que se tient l'ouvrier, se compose de deux pièces en fer, de 0m.07 à 0m.08 d'épaisseur, à la partie inférieure de l'une desquelles est le trou de *chio*, pour l'écoulement des laitiers. Ces plaques, dont la largeur est d'environ 0m.20, ont leurs extrémités noyées, d'une part, dans le mur qui supporte la tuyère et, de l'autre, dans le remblai qui supporte la paroi faisant face à la tuyère. Le laiterol est surmonté d'une barre C, à section carrée, également noyée dans les maçonneries adjacentes, que l'on

Digitized by Google

nomme *plis*, et qui sert de point d'appui au *ringard* pour soulever la *loupe;* de plus, elle sert à maintenir en place la plaque de travail ou *banquette* D qui est placée derrière.

On nomme *porges* des barres de fer E placées les unes au-dessus des autres au-dessous de la tuyère; leur assemblage constitue ce qu'on nomme le *côté des porges*, qui se trouve toujours à la gauche de l'ouvrier.

L'*ore* F est la face opposée à la tuyère; sa paroi, toute de pièces en fer appuyées contre un remblai en terre ou en pierre, est fortement évasée de la base au sommet.

La *cave* est la face G opposée au *laiterol* et se distingue des autres faces latérales en ce qu'elle n'est pas revêtue de fer.

La *soufflerie*, employée dans le procédé catalan, est presque toujours la *trompe* (fig. 59, pl. 9), parce que l'eau est généralement abondante dans les montagnes où on le pratique, et aussi parce que ce genre de soufflerie est non-seulement très-économique, mais encore très-régulier, ce qui est nécessaire pour le travail du feu.

La quantité de carbone brûlée par heure variant entre 70 et 90 kilog., une assez forte proportion de ce carbone s'échappe du foyer à l'état d'oxyde de carbone; il en résulte que, comme dans les hauts fourneaux, au lieu de 9 mètres cubes d'air par kilog. de carbone brûlé, il ne s'en consomme qu'environ 5 à 6 mètres cubes, soit 7 à 8 mètres cubes par minute.

La pression du vent varie entre 0m.04 et 0m.09 de mercure, et la force motrice nécessaire entre 3 et 6 chevaux; mais, avec les trompes, l'effet utile n'étant, en moyenne, que de 10 pour 100 du travail dépensé, il faut compter sur une force d'eau de 20 chevaux environ.

Les *marteaux* des forges catalanes sont de la catégorie de ceux dits à bascule (fig. 4, 5, pl. 22), avec axe de rotation situé entre la came motrice et la tête. Ils sont de deux dimensions, savoir : les marteaux à cingler, pesant environ 650 kilog., ayant une levée, sous le rabat, de 0m.45 à 0m.50 et donnant de 100 à 120 coups par minute, et les marteaux à étirer, pesant beaucoup moins, mais donnant un plus grand nombre de coups par minute.

### *Travail des forges catalanes.*

On fait un mélange des différents minerais que l'on a à traiter, de manière à leur donner la composition qui permet d'ajouter le moins de fondants possible. D'après M. *Richard*, qui a traité spécialement la question des foyers catalans, la mine du commerce, dans l'*Ariége*, est un mélange de fer spathique décomposé, de carbonates compactes plus ou moins altérés, d'hématites brunes concrétionnées et d'hydroxydes compactes argileux, qui, avec les matières terreuses qu'ils renferment, donnent, à l'analyse :

| | |
|---|---|
| Eau. . . . . | 12.112 |
| Silice. . . . . | 14.715 |
| Peroxyde de fer. . . . . | 62 474 |
| Oxyde de manganèse. . . . . | 6.213 |
| Chaux. . . . . | 2.790 |
| Alumine. . . . . | 1.014 |
| Magnésie. . . . . | 0.545 |
| Perte. . . . . | 0.137 |
| Total. . . . . | 100.000 |

La densité du mélange est de 1,900 kilog. le mètre cube environ.

La charge est de 487 kilog. de minerai bocardé sous le marteau au commencement de chaque

Digitized by Google

opération. Elle est précédée d'une forte charge de charbon de bois tassé à la pelle jusqu'au niveau de la tuyère. A partir de ce point, on sépare le foyer en deux parties, à l'aide d'une planche parallèle aux porges, et on continue, d'une part, à remplir de charbon le compartiment situé entre les *porges* et la planche, d'autre part à verser la mine dans le compartiment situé entre la planche et l'*ore*. Cela fait, on retire la planche en appuyant légèrement du côté de l'ore. On remplit l'espace vide en charbon de fraisil mouillé, que l'on bat fortement de manière à former un mur solide, et on donne le vent.

La conduite d'une opération présente les caractères suivants, savoir :

1° On maintient pendant 8 à 10 minutes le vent à une pression de 0m.08 à 0m.09 de mercure pour bien allumer le feu ; on l'abaisse ensuite à 0m.03 ou 0m.04 ; on ajoute du charbon et de la greillade (la greillade est un mélange de minerai tamisé, fortement humecté et gâché à la façon de la terre à briques) en l'arrosant chaque fois avec de l'eau, et l'on pousse le charbon dans l'angle des porges et de la cave.

2° Au bout de 75 minutes environ la pression du vent est portée à 0m.04 ou 0m.05. Les scories du feu précédent sont ajoutées par parties avec de la greillade, du charbon et de l'eau ; le trou de chio est débouché pour la première fois ; les scories riches qui en sortent sont remises sur le feu.

3° Après 140 minutes, second percement du chio ; élévation de la pression à 0m.06 ou 0m.07 de mercure ; l'escola fait descendre la mine pour la première fois vers l'angle de l'ore et du laiterol ; elle s'affaisse bientôt un peu et fait place à celle qui était restée sur l'aire en dehors du feu. Additions successives de charbon et de greillade ; troisième et quatrième percement du chio ; l'escola donne de la mine au milieu de l'ore.

4° 180 minutes après le commencement du feu, la pression du vent a atteint 0m.07 à 0m.08 ; le travail est poussé activement ; on ouvre souvent le chio et l'on pousse la mine à diverses reprises et aux différents points de l'ore ; toute la greillade est épuisée.

5° Les opérations précédentes ont exigé 220 à 230 minutes ; on porte la pression à 0m.08 ou 0m.09. Tout le tas de mine et de greillade a disparu sous le charbon, qui forme un immense brasier enflammé sur toute la surface ; on porte beaucoup de charbon et on perce souvent le chio pour faire écouler les scories ; l'escola accélère la fusion du minerai et travaille activement à la réunion de toutes les parcelles de fer en un seul massé qui occupe le fond du creuset ; la flamme blanchit subitement et prend beaucoup d'éclat ; l'opération touche à sa fin, la trompe est arrêtée et le massé retiré six heures environ après le chargement du feu.

Un feu catalan marche, en moyenne, dix mois sur douze et fait, dans le même temps, 150 tonnes de fer.

---

## CHAPITRE II.

### DU TRAITEMENT DE LA FONTE AU FEU SOUFFLÉ.

Le *feu soufflé* (fig. 6, 7, 8, 9, 10, 11, pl. 23), que l'on nomme aussi *feu de forge, feu comtois, feu d'affinerie*, etc., consiste en un creuset A dans lequel le combustible et le métal sont en contact. Une tuyère B sert à la fois à entretenir la combustion et à opérer la réduction du métal ; son effet varie suivant l'inclinaison qu'elle affecte par rapport à l'horizontale *a b* partant de l'extrémité de son museau *b*.



Digitized by Google

Dans cet appareil, le combustible est toujours un charbon *sec* (page 40); on peut donc y employer indifféremment le *coke* ou le *charbon de bois;* cependant on n'y emploie jamais le *coke,* par la seule raison que le produit serait toujours inférieur à celui que l'on obtient au *four à réverbère* et coûterait beaucoup plus cher. Le *charbon de bois* est, malgré son haut prix, le combustible exclusivement affecté à ce mode d'affinage, parce que les produits qui en résultent sont de *première qualité;* on les désigne dans le commerce sous le nom de *fers forgés,* pour les distinguer des produits du four à réverbère, qui portent le nom de *fers puddlés.*

Il existe un grand nombre de méthodes d'affinage au charbon de bois, les unes ayant pour but le *minimum* de déchet, les autres ayant pour but le *maximum* de qualité. Le grand art dans la profession d'affineur est d'arriver aussi près que possible de chacun de ces deux buts. Quelle que soit la méthode employée, l'appareil est toujours le même, c'est-à-dire le creuset précité, à parois en fonte mobiles, dans lequel le *fer,* le *carbone* et l'*oxygène* se trouvent, autant que possible, dans les conditions prescrites (page 46) pour aboutir au résultat final : *fer, oxyde de carbone* et *acide carbonique.*

Le deutoxyde de fer étant ce qui constitue le déchet, si on en veut faire peu, il faut s'attendre à produire un fer plus ou moins aciéreux; si, au contraire, on veut un fer pur, il faut s'attendre à beaucoup de deutoxyde.

Étant donnée une qualité de fer à produire, le choix n'est plus possible, et il peut arriver que, suivant la qualité du métal à affiner, on obtienne, pour le produit, la qualité voulue, tantôt en faisant beaucoup de déchet, tantôt en en faisant fort peu. Voilà pourquoi les affineurs sont obligés de modifier leur mode de travail chaque fois qu'ils changent de fonte.

En principe, une fonte qui, soumise à l'affinage, donne facilement du fer à *nerf* ne doit être traitée pour fer à *grain* qu'autant que la qualité du produit ne doit pas être supérieure. Réciproquement, une fonte qui, soumise à l'affinage, ne donne du fer à *nerf* qu'à l'aide d'un fort déchet ne doit jamais être traitée que pour fer à *grain.*

Cela résulte de ce que nous avons dit (page 48 et suivantes) concernant les matières étrangères qui souillent le fer. De toutes les fontes, les plus pures sont celles qui retiennent fortement les dernières parcelles de carbone que l'affinage tend à leur enlever. Toute fonte donnant facilement du *nerf* est donc une fonte impure, et on ne saurait trop la décarburer pour faire partir avec le carbone les dernières traces du silicium qu'elle contient. S'il faut absolument lui laisser son phosphore, faute d'agent convenable pour le saturer, on a du moins la satisfaction de la rendre ainsi aussi pure que possible. Toute fonte, au contraire, qui a le *grain* tenace est une fonte pure que l'on tourmente inutilement en voulant lui faire donner du nerf.

Quel que soit l'usage ultérieur qu'on doit faire du fer à grain, le carbone pur qu'il contient ne peut jamais être nuisible. Si ce fer est destiné à la fabrication de l'acier, il n'en retient jamais trop; s'il est, au contraire, destiné à la fabrication du fer, même à nerf, ce qui ne peut être qu'exceptionnel, les nombreuses chaudes qu'il subit avant de revêtir sa *forme définitive* sont plus que suffisantes pour lui faire perdre l'excédant de carbone qu'il renferme.

Autrefois on distinguait les feux d'affinerie en feux *découverts* et feux *couverts;* aujourd'hui on ne fait plus que des feux *couverts,* qui remplissent le même but que les autres et occupent infiniment moins de place.

Ils consistent en un parallélipipède rectangle (fig. 8, 9, 10, pl. 23), dont les parois verticales sont des plaques de fonte, suffisamment épaisses pour résister aux poussées intérieures. Ces plaques sont garnies intérieurement de briques sur lesquelles repose une voûte.

La plaque, dite de devant, est munie d'une grande ouverture, appelée *porte* de travail, servant d'introduction aux matières et aux outils. La plaque de *derrière* est munie d'un *orifice,* avec

Digitized by Google

*coulisse* et *registre*, communiquant avec les conduits de fumée de l'usine se rendant à la cheminée. Sur le côté droit est une petite porte destinée à l'introduction des masseaux de fonte à affiner, que l'on dépose sur l'autel A pour les faire *rougir* à la chaleur perdue qui se dégage du creuset B; de sorte que, quand on les met ensuite sur ce dernier pour les travailler, ils font gagner à l'ouvrier tout le temps qu'ils auraient mis, froids, à y acquérir la température qu'ils possèdent, et, au maître, tout le charbon qui aurait été dépensé dans le même temps.

Sur le côté droit est une *chapelle* dans laquelle se loge la tuyère destinée à amener l'oxygène nécessaire à la réaction.

Les cinq plaques composant le creuset portent chacune un nom particulier, savoir :

| | |
|---|---|
| La sole. . . . . | *a* (fig. 8 et 9); |
| La varme. . . . . | *b* (fig. 8); |
| Le contrevent. . . . . | *c* (fig. 8); |
| La rustine ou haire. . . . | *d* (fig. 9); |
| Le chio. . . . . | *e* (fig. 9). |

Ces plaques sont assemblées entre elles et avec la maçonnerie-enveloppe par des coins qui permettent d'en modifier facilement la position.

Sous la sole est un espace vide, communiquant avec l'intérieur à l'aide du conduit *g*, légèrement incliné vers lui, par lequel l'ouvrier introduit de l'eau, pour rafraîchir la sole sans l'atteindre, quand elle s'échauffe trop.

En avant du creuset et en dehors de l'appareil, y attenant, est une plaque horizontale en fonte, dite *plaque de travail*, sur laquelle séjourne le charbon qui, projeté dans le creuset-trop-plein, retombe en dehors; ce charbon, s'échauffant là petit à petit, y est ensuite repoussé, dès qu'il en faut du nouveau, et ne contrarie pas l'opération, comme le ferait le charbon frais.

Pour monter un creuset, on place d'abord la *varme*, qui sert de point d'appui à la tuyère et est toujours verticale. Après la varme on pose la sole, dont la hauteur au-dessous de la tuyère dépend de certaines considérations importantes. Plus la sole est haute, pour un même poids de fonte à décarburer, plus, évidemment, le vent a d'action sur le métal, et plus il y a de déchet. Quand la fonte est très-pure ou quand on tient à faire peu de déchet, quelle que soit la qualité de la fonte, le creuset doit toujours être profond. Il en est de même quand on traite de la ferraille; le principal but que l'on se propose, dans ce cas, étant non d'améliorer sa qualité, mais simplement de la convertir en un seul bloc.

D'un autre côté, quand la pression du vent est forte, l'action de ce dernier, sur le métal, étant plus énergique que quand il est faible, il convient de faire le creuset plus profond pour un vent fort que pour un vent faible, à qualité identique de fonte à affiner. En général, pour pression du vent égale à 4 centimètres de mercure, la profondeur du creuset, mesurée sur la varme, doit être de 16 centimètres; pour pression du vent égale à 8 centimètres de mercure, cette profondeur doit être portée à 20 centimètres pour fonte pure et 22 centimètres pour ferraille pure.

La sole est toujours inclinée depuis la varme jusqu'au contrevent; cette inclinaison, qui n'a d'autre but que de faciliter l'écoulement, au dehors, des laitiers liquides qui séjournent à la partie inférieure du creuset, est une tangente de 13 pour un rayon de 77 (telle est la donnée des affineurs).

Après la sole, on pose la rustine verticale, puis le contrevent, avec une légère inclinaison, dont le but est de diriger hors du creuset le jet de vent qui vient frapper contre lui.

Le *chio* se pose en dernier. Il est muni de quatre orifices, dont l'un inférieur *h* sert à l'écoulement des silicates *basiques* dits *scories douces*, qui se reconnaissent à leur *peu de fluidité* et se

Digitized by Google

remettent dans le feu, et dont les trois autres $i$, $i'$, $i''$, situés, en moyenne, à 0m.14 de la varme et à 0m.081 de la sole, servent à l'écoulement des silicates *acides* dits *scories crues*, qui sont très-liquides et doivent être jetés.

La tuyère, appuyée sur la varme, doit avoir une inclinaison qui, mesurée au moyen de sa base $x\,y$ et de l'horizontale, représente une tangente de 9 pour un rayon de 77. Son museau doit dépasser la varme, dans le creuset, de 40 millimètres pour fonte pure et de 30 millimètres pour ferraille pure, et son orifice, à section demi-circulaire, doit avoir de 30 à 32 millimètres de large sur 20 à 25 millimètres de haut.

La base $k$ ne doit pénétrer dans la tuyère que jusqu'à 6 ou 7 centimètres de l'orifice de cette dernière; son bec doit emboîter exactement la douille intérieure de la tuyère et avoir pour orifice une largeur de 35 à 38 millimètres sur 28 à 30 millimètres de haut.

La distance, de l'axe de la tuyère à la rustine est de 23 centimètres.

Les tuyères sont tantôt en cuivre rouge, tantôt en fer creux, avec courant d'eau intérieur; ces dernières sont de beaucoup préférables aux premières, surtout quand on travaille à forte pression de vent et, par conséquent, à haute température.

La charge des feux d'affinerie varie. Dans les *feux comtois*, où la pression du vent est de 4 centimètres de mercure, les dimensions du creuset sont :

| | |
|---|---|
| Longueur. . . . . | 0m.67 |
| Largeur. . . . . | 0 .40 |
| Hauteur. . . . . | 0 .16 |

correspondant à une capacité de 0mc.043. Les charges sont, soit de 80 kilogr. fonte ou ferraille, soit 60 kilogr. fonte et 20 kilogr. ferraille.

On fait 10 charges par 12 heures. Chaque charge produit une boule qui, cinglée et laminée de la même chaude, en plat de 6e, pèse 60 kilogr. Le produit journalier est donc de, en moyenne, 600 kilogr.

Dans un feu, dirigé par un affineur anglais, que nous avons vu fonctionner concurremment avec les feux comtois, la pression était de 8 centimètres de mercure et les dimensions du creuset étaient :

| | |
|---|---|
| Longueur. . . . . | 0m.85 |
| Largeur. . . . . | 0 .50 |
| Hauteur. . . . . | 0 .20 |

correspondant à une capacité de 0mc.085, soit le double de la capacité du feu comtois ordinaire.

Les charges étaient de 100 kilogr. fonte ou ferraille, ou de 75 fonte et 25 ferraille.

On faisait 12 charges en 12 heures. La charge produisait une boule qui, cinglée et laminée de la même chaude, en plat de 6e, pesait 75 kilogr. Le produit journalier était donc de 900 kilogr.

Dans les deux cas, la consommation était la même, soit :

| | |
|---|---|
| 1,250 à 1,350. . . . . | Fonte et ferrailles, |
| 500 à 600. . . . . | Charbon de bois, |

pour 1,000 kilogr. fer forgé.

La qualité était également la même. Cependant nous devons dire que, dans le second feu, il y a non-seulement économie de temps, mais encore tendance à l'économie de matières employées. De plus, comme l'affinage est une opération pour laquelle les ouvriers ne sauraient être trop habiles, la seconde méthode permet d'accaparer les sommités ouvrières, sans augmenter les frais de main-d'œuvre. Or ce point est très-important, en ce sens que, comme on n'affine le

Digitized by Google

fer au charbon de bois, dans les grandes forges, que pour obtenir de la qualité, il faut absolument avoir de bons ouvriers, et la méthode comtoise ne le permet qu'autant qu'on les paye plus cher.

Les frais de main-d'œuvre, à l'affinage, sont de 20 à 25 fr. par 1,000 kilogr. de fer forgé, suivant la valeur des ouvriers.

A 600 kilogr. par jour, l'affineur touche pour lui et son servant 15 fr.

A 900 kilogr., il touche 17 fr. 50 c., soit 15 fr., son servant payé.

On peut établir, ainsi qu'il suit, le prix de revient de 100 kilogr., fer affiné au charbon de bois, avec fonte fine pure :

| | | |
|---|---|---|
| 125 kilogr. fonte, à 20 fr. . . | 25 fr. | 00 c. |
| 600 kilogr. charbon, à 10 fr. . | 6 | 00 |
| Main-d'œuvre. . . . . | 2 | 50 |
| Frais généraux. . . . . | 2 | 50 |
| | 36 fr. | 00 c. |

Suivant le prix de la fonte et du charbon, ce prix peut s'élever ou s'abaisser, mais il ne peut guère aller au-dessous de 32 fr. dans les bassins houillers où sont établies les forges anglaises.

Quand, au lieu de fonte, on emploie de la ferraille pure, le prix de revient devient :

| | | |
|---|---|---|
| 140 kilogr. ferraille, à 15 fr. . . | 21 fr. | 00 c. |
| 40 kilogr. charbon, à 10 fr. . . | 4 | 00 |
| Façon. . . . . | 2 | 50 |
| Frais généraux. . . . . | 2 | 50 |
| | 30 fr. | 00 c. |

Le feu anglais, dont nous avons parlé plus haut, diffère des feux comtois ordinaires, représentés dans les fig. 6, 7, 8, 9, 10, 11 (pl. 23), en ce sens que, au lieu de briques armées de fontes, pour constituer la garniture du four, il y a des boîtes en fonte dans lesquelles circule constamment un courant d'eau. Le but de ces boîtes est non-seulement de rafraîchir les parois du creuset et le charbon qui brûle inutilement au sommet de la réaction, mais encore d'enlever facilement les crasses qui, lancées par le vent de la tuyère, vont s'attacher aux parois en briques du four et y adhèrent si fortement que, à certain moment, il est plus économique de le reconstruire à neuf que de les enlever.

Cette disposition, qui présente de grands inconvénients à cause des nombreux robinets et tuyaux qu'elle nécessite et est de plus une sujétion continuelle pour l'ouvrier, nous a suscité l'idée de placer le feu dans une chaudière à vapeur. Les fig. 12, 13 (pl. 24) représentent, la première, un feu d'affinerie dans une chaudière exclusivement chauffée par la flamme perdue; la seconde, un groupe de deux feux d'affinerie accolés dans une même chaudière.

Si, comme le prétend M. Thirria (*Annales des mines*, 5e livraison, 1840), on peut utiliser les 0.7 du calorique produit pendant la réaction, pour le chauffage à flamme perdue, on voit que chaque feu ci-dessus donnerait un effet utile de 30 à 35 kilogr. de carbone par heure; soit, environ 8 à 10 chevaux-vapeur. Cette disposition, plus coûteuse qu'un feu d'affinerie comtois ordinaire, ne le serait certainement pas plus que ce feu suivi d'une chaudière cylindrique ordinaire, et donnerait plus d'effet utile. Nous n'avons, du reste, pris aucun brevet; chacun peut donc l'essayer.

Voici, en ce qui concerne le feu comtois ordinaire, les poids des fontes entrant dans sa construction.

Digitized by Google

| | | |
|---|---|---|
| 1 plaque-enveloppe de derrière. | | 473 kilogr. |
| 1 coulisse de la cheminée. | | 20 |
| 1 plaque de devant, enveloppe. | | 513 |
| 1 plaque du côté droit, enveloppe. | | 789 |
| 1 porte du côté droit. | | 22 |
| 1 plaque du côté gauche, enveloppe. | | 850 |
| 1 chapelle de tuyère, côté gauche. | | 32 |
| Creuset. — 1 plaque de travail. | | 128 |
| 2 supports de ladite plaque. | | 91 |
| Plaques de sous-sol. | | 123 |
| 1 plaque de sole. | | 93 |
| 1 plaque de derrière. | | 87 |
| 1 plaque de varme. | | 62 |
| 1 plaque de rustine. | | 55 |
| 1 plaque de contrevent. | | 140 |
| 1 plaque de chio. | | 25 |
| | | 3,503 kilogr. |

## CHAPITRE III.

### DU TRAITEMENT DE LA FONTE AU FOUR A RÉVERBÈRE.

Nous avons vu (page 22) que, pour décarburer la fonte, il suffit de l'envelopper d'un oxyde fixe et de la soumettre, ainsi emmaillottée, à une température au moins égale au rouge-cerise. Si la température est insuffisante pour la liquéfier, la fonte devient toujours, au bout de vingt-quatre heures de chauffage, *fonte grise* ou mélange de *graphite* et d'*acier;* si, au contraire, la température est suffisante pour opérer sa liquéfaction, elle devient *fonte liquide* ou *dissolution homogène de carbone dans le fer liquide.*

Dans le premier cas, la décarburation s'effectue *successivement* depuis la surface jusqu'au centre; dans le second cas, la décarburation s'effectue *simultanément* et petit à petit dans toute la masse. Mais, comme nous l'avons dit, la décarburation de la fonte *solide* a pour inconvénient de n'enlever que le carbone, et par conséquent de ne pas épurer le métal; en outre, elle est très-lente et ne peut convenir que pour la conversion directe de la fonte en acier suffisamment homogène, chimiquement et mécaniquement, pour être étiré directement en barres ou tôles.

La liquéfaction préalable de la fonte, au contraire, non-seulement permet d'opérer la décarburation à plus haute température que dans le cas précédent, et par conséquent d'activer la réaction, mais encore elle rend possibles le brassage de la fonte dans l'oxyde et le renouvellement fréquent des surfaces en contact.

En outre, le silicium, étant liquéfié et, par conséquent, doué de la mobilité atomique, réagit sur l'oxyde en contact, le décompose en partie et se combine avec l'autre partie pour former un silicate acide, neutre ou basique, suivant l'affluence de chacun des composants. Le four à réverbère affecté à l'affinage doit donc toujours, lorsqu'il s'agit de fonte, avoir une *sole creuse*, de capacité suffisante pour contenir liquide la charge de fonte à affiner que l'on y dépose.

Quand il s'agit uniquement de mettre de la fonte en fusion au moyen du four à réverbère, on emploie avec succès l'appareil représenté dans les fig. 14, 15 (pl. 25). Dans cet appareil, la sole,

Digitized by Google

disposée en cuve, a pour parois une couche de sable de 0m.10 à 0m.15 d'épaisseur environ. Ce sable, bien comprimé, est ensuite recouvert d'une légère couche de battitures, puis soumis à l'action d'un feu violent qui en convertit la superficie en silicate de fer ou verre *acide*. Les lingots à fondre sont ensuite déposés sur cette sole, les petits au bas, les gros au sommet, dans le courant de la flamme, de manière que tous fondent à peu près en même temps. Mais cet appareil, qui, tel qu'il est, convient très-bien pour une fonderie de fonte de moulages, présente l'inconvénient de trop concentrer la fonte liquide en un même point et de rendre très-lente sa décarburation par les oxydes métalliques projetés dessus.

En admettant que cet appareil convienne, il faut donc modifier la forme de la cuve de manière que la fonte en fusion occupe le plus de surface et le moins d'épaisseur possible. On arrive alors à la disposition représentée dans la fig. 16.

Cette sole, qui a été employée pendant longtemps et l'est peut-être encore, présente plusieurs inconvénients. D'abord elle ne résiste pas à l'action des oxydes employés à la décarburation, et, se combinant avec eux, fond et s'écoule par les fissures de la maçonnerie qui est au-dessous. Pour lutter contre cet inconvénient, on eut l'idée de la poser sur une plaque de fonte *a* qui fit disparaître cet inconvénient.

En second lieu, elle ne peut durer que tant qu'il y a du sable; or ce dernier, en contact avec des oxydes, à haute température, se combine rapidement avec eux et forme un laitier acide non-seulement impropre à la décarburation du métal, mais encore nuisible, en ce sens qu'il prend à ce dernier l'oxyde dont il a besoin pour saturer son carbone et son silicium.

Le seul moyen que l'on ait pu employer pour conserver ces soles consistait à décarburer la fonte à l'état pâteux, c'est-à-dire ni solide ni liquide. La réaction était d'autant plus vive alors, que les surfaces, mises en contact, y restaient, les matières ne pouvant se classer par ordre de densité. Mais ce moyen était toujours vicieux, en ce sens qu'il introduit involontairement, comme élément de l'opération, une substance, la silice, qui lui est tout à fait nuisible, en ce sens qu'elle s'empare d'une partie du réactif et, de plus, forme avec ce réactif des composés très-fusibles qu'il faut retirer, en pure perte, du four après chaque opération.

Remarquant, en outre, que la sole en sable qui consomme tant du réactif ne permet à ce dernier d'agir efficacement que sur la surface supérieure du métal, on comprendra que celui-là rendit un immense service aux maîtres de forges qui eut l'idée de substituer à la sole en sable la sole en scories riches ou en battitures fondues de ferraille brûlée. La fonte se trouva alors placée dans les conditions normales nécessaires à sa prompte décarburation, c'est-à-dire enveloppée d'oxyde métallique.

Mais un autre progrès restait à réaliser. Quelque réfractaires que fussent les briques composant les parois verticales du four, les silicates acides, engendrés par les fontes au coke pendant la décarburation, les détérioraient si rapidement, qu'on était obligé, pour les conserver, d'enlever une partie du silicium des fontes, par une opération spéciale, avant de les introduire dans les fours d'affinage. Cette opération, qui portait le nom de *mazéage* et est encore employée dans quelques usines où le combustible et la fonte sont à bon marché, consistait à soumettre la fonte à une espèce d'affinage, analogue à celui des feux d'affinerie, dans l'appareil représenté dans les fig. 17 et 18 (pl. 23). On lui enlevait à la fois, ainsi, une partie de son carbone et une partie de son silicium. Elle convenait principalement pour les fontes au coke très-siliceuses, et les fontes fines très-carburées, qui abandonnent difficilement leur carbone dans l'affinage au four à réverbère.

Chose remarquable, ce progrès ne fut pas réalisé en vue de ce résultat. Nous étions au Creusot, en 1838, quand M. *Schafhaeutl*, ingénieur allemand, inventeur de la poudre de ce nom, vint,

Digitized by Google

avec un ingénieur anglais dont nous regrettons de ne pas nous rappeler le nom, car ce fut lui qui imagina le *four bouillant*, faire des essais pour enlever le soufre et le phosphore au fer pendant la décarburation.

Il s'agissait de projeter dans les fours à *puddler* un mélange composé de :

| | |
|---|---|
| 0k.875 | oxyde noir de manganèse, |
| 0k.306 | argile de potier, |
| 1k.836 | sel marin, |
| Total. . . . . | 3k.017 pour 146k.85 de fonte à affiner. |

Cette proportion de sel marin avait pour grave inconvénient d'agir sur les parois des fours encore plus énergiquement que ne l'aurait fait le silicium, dont les mazeries débarrassaient la fonte.

On construisit alors ce qu'on appelle aujourd'hui un *four bouillant*. Ce four (fig. 19, 20, 21, 22, 23, 24, pl. 26) consiste dans la substitution, aux parois en briques de la cuve, de parois métalliques rendues infusibles par un courant d'air ou d'eau régnant tout autour en dehors de la cuve.

La poudre de *Schafhaeutl* ne produisit aucun résultat, mais le four bouillant resta par cette raison fort simple que, du moment où les parois verticales de la cuve ne redoutaient plus l'action des laitiers, il était complétement inutile de *mazer* les fontes siliceuses.

Quelques mois après les essais précités, les six fours de mazerie du Creusot avaient disparu pour n'y plus reparaître.

Le four à *puddler*, tel qu'il s'emploie aujourd'hui, est donc un four à réverbère dont la sole est une cuve à parois extérieures métalliques, garnie intérieurement, soit en scories fondues aussi riches que possible, soit en battitures fondues de ferraille brûlée sur place.

Les scories riches et la ferraille sont deux substances qui ont une certaine valeur et qu'il n'est pas toujours possible de se procurer. Les scories riches des feux d'affinerie sont en partie utilisées dans ces fours; celles qui se ramassent sous les marteaux cingleurs et les laminoirs sont indispensables pour la réaction superficielle supérieure dans les fours à puddler.

Les ferrailles, telles que rognures de tôles fines, bavures de laminoirs et, en général, toutes celles qui occupent beaucoup de volume et se brûlent facilement, sont abondantes dans les forges, mais coûtent cher; il en faut 1,500 kilog. pour faire une sole de four à une ou deux portes de travail. Pour ces diverses raisons, on préfère, le plus souvent, employer des laitiers choisis de fours à réchauffer le fer pour le soudage. Ces laitiers sont des silicates légèrement basiques, mais qui ne coûtent rien; ils coûtent même quand on ne les emploie pas, puisqu'il faut les faire jeter hors de l'usine. Ils ne valent pas, à beaucoup près, les soles en ferraille pure, mais ils font leur service tant bien que mal, et c'est là l'important.

Jadis tous les fours étaient à une porte de travail; cette disposition, qui est favorable à la production rapide d'une haute température, convient essentiellement pour les fontes fines, surtout très-carburées; mais on peut, sans inconvénient, avoir deux portes de travail pour les fontes de Champagne et trois pour les fontes au coke. Plus le nombre des portes de travail est grand, plus il entre d'air dans le four par ces portes et moins la température s'élève vite; mais plus les fontes sont impures, moins elles retiennent facilement le carbone et moins elles exigent d'énergie dans la réaction pour l'abandonner.

On peut donc considérer trois espèces de fours à puddler, savoir :

Les fours à une porte de travail, pour fontes fines;

Les fours à deux portes de travail, pour fontes moyennes;

Les fours à trois portes de travail, pour fontes inférieures.

Digitized by Google

Quand les fours sont à une porte, la disposition la plus convenable est celle des fig. 19, 20 (pl. 26).

Quand les fours sont à deux portes, la disposition la plus convenable est celle des fig. 21, 22, 23, 24 (pl. 27). Les deux portes étant opposées, les ringards, qui, dans les premiers cas, pèsent 15 et 17 kilog. et fatiguent considérablement les ouvriers, ne pèsent plus que 11 et 12 kilog., par la raison qu'ils peuvent être plus courts et, conséquemment, moins gros.

Quand les fours sont à trois portes, et nous parlons ici pour mémoire, car il n'en existe peut-être qu'à l'état d'essai aujourd'hui, la sole doit avoir pour base un hexagone dont trois côtés pour les portes, deux côtés pour deux foyers et un côté pour la sortie des gaz brûlés.

### Travail du puddlage.

Le travail du puddlage proprement dit comprend :

1° La préparation de la sole ;
2° Le chauffage du four ;
3° Le chargement de la fonte ;
4° La décarburation ;
5° La confection des boules.

1° *Préparation de la sole.* — On choisit, parmi les laitiers de fours à souder le fer, les morceaux les plus *gras*, c'est-à-dire ceux qui, accumulés en montagne comme de la lave fondue, accusent une fusibilité moindre que ceux qui constituent la base à surface plane, et indice d'une grande fusibilité. On prend aussi, quand on le peut, des scories douces du feu d'affinerie. Cela fait, on commence par garnir les parois de la cuve avec ces scories, les accumulant en quantité suffisante pour atteindre le sommet, puis on chauffe. Quand cette garniture commence à se ramollir, on la comprime avec une *spadelle*, de manière à remplir tous les vides ; puis on jette au milieu de la cuve un nombre suffisant de pelletées de scories plus fusibles, que l'on égalise et chauffe fortement jusqu'à fusion complète formant glace. On peut, quand la sole est fondue, si elle paraît trop liquide, la saupoudrer de battitures.

Dans beaucoup de localités, on préfère employer, pour la garniture des parois verticales de la cuve, de la ferraille pure, préalablement brûlée, et n'affecter les scories qu'à la confection de la sole proprement dite ; dans d'autres, on fait toute la sole en ferraille pure. A cet effet, on fait brûler, dans le four, 500 kilogr. du petit bidon ou autres menues ferrailles non lopinables ; on laisse refroidir, puis on casse en morceaux la battiture fondue qui en est résultée, et on en garnit avec soin tout le pourtour de la cuve. On remet ensuite le feu, et on brûle encore de 900 à 1,000 kilogr. de ferrailles pour composer la sole proprement dite.

Quelque avantageuse que soit la sole en ferraille pure, elle nécessite une dépense qu'il ne faut faire que quand les fontes à puddler sont toutes très-siliceuses, comme les mauvaises fontes au coke, par exemple. Mais quand on a à puddler des fontes fines, des fontes métisses et de bonnes fontes au coke, il est très-facile de s'arranger de manière à éviter les soles en ferraille. En effet, les fontes fines, loin de détruire la sole, la font constamment monter par l'oxyde qu'elles lui abandonnent à la suite de chaque opération ; les fontes métisses, notamment les fontes de Champagne, la conservent assez généralement telle qu'elle est ; les fontes au coke, au contraire, la mangent plus ou moins. Il suffit donc, quand les fontes au coke ne sont pas trop mauvaises, d'alterner ces dernières avec les fontes fines pour conserver longtemps les soles en scories.

Les parois verticales métalliques des cuves sont tantôt à courants d'air, tantôt à courants d'eau.



Digitized by Google

Quand elles sont à courants d'air, il convient de les faire en fer plat laminé ordinaire, de 22 centimètres de largeur sur 27 à 28 millimètres d'épaisseur, soit en anciennes mesures, de 8° sur 1°. On les faisait autrefois en fonte, mais elles ne duraient pas assez longtemps.

Quand les parois verticales sont à courants d'eau, elles affectent tantôt la forme de boîte, tantôt, et mieux, la forme de tuyaux ayant 20 à 22 centimètres de côté extérieurement, et un vide de 5 à 6 centimètres de diamètre seulement sur toute la longueur de leur axe; les autels se recouvrent tantôt en briques réfractaires, tantôt en pierres de grès réfractaires qui durent plus longtemps que les briques, mais qu'on ne rencontre pas partout.

La plaque de sole en fonte doit avoir une épaisseur d'au moins 6 centimètres. Autrefois cette plaque était d'un seul morceau, puis on l'a faite de deux morceaux; maintenant on la compose de neuf morceaux, maintenus rapprochés les uns des autres transversalement par les armatures extérieures du four, longitudinalement (pl. 27, fig. 21, 22) par des sommiers transversaux *s, s*, dont les extrémités sont maintenues rapprochées par des tirants en fer noyés dans la maçonnerie. Le but des soles en plusieurs morceaux est de pouvoir remplacer l'un d'eux facilement quand, par la négligence des ouvriers, le métal à affiner a pénétré dans la sole en scories, et est venu s'attacher à la sole en fonte. Le travail que nécessite cet arrachage sur une sole d'un seul morceau est infiniment plus coûteux que le remplacement partiel de cette dernière.

Un four à puddler ne marche jamais plus de six jours consécutifs; tous les dimanches on l'arrête pour le réparer, et changer les parties métalliques ou autres qui sont hors de service.

Les durées des diverses parties composant un four bien conduit sont les suivantes, savoir :

| | |
|---|---|
| Plaque de sole en fonte. . . . . | 6 mois. |
| Parois verticales en fer. . . . . | 3 *id.* |
| Maçonnerie du grand autel. . . . . | 6 jours. |
| — du petit autel. . . . . | 2 *id.* |
| Voûte sur le foyer. . . . . | 3 mois. |
| Voûte sur la sole. . . . . | 6 *id.* |
| Murs de côté. . . . . | 6 *id.* |

2° *Chauffage du four.* — C'est à tort que quelques personnes pensent qu'on peut donner du mauvais charbon aux fours à puddler; l'économie qu'on réalise, en agissant ainsi, est largement compensée par le déchet qui en est la conséquence. Il en est du four à puddler comme du feu d'affinerie; le minimum du déchet est dans l'accélération du travail, et le travail ne peut être accéléré que par une température élevée.

Le combustible qui convient le mieux, pour le puddlage, est le charbon demi-gras, à flamme suffisamment longue pour remplir le four, sans trop chauffer *le cassin*, où les charges doivent rougir, mais non pas fondre.

Un four à puddler, à une porte de travail, a une grille de 1m.00 de large sur 0m.80 de longueur. Il brûle environ 1,200 kilogr. de charbon par douze heures, pour une production de 12 à 1,400 kilogr. de fer, soit, en moyenne, 950 kilogr. de charbon pour 1,000 de fer en barres produit. La surface de la grille étant de 80 décimètres carrés, la consommation, par décimètre carré et par heure, est de :

$$\frac{950}{80 \times 12} = 1^{k}.00 \text{ environ.}$$

La section d'écoulement des fumées, à la coulisse, correspondant avec le conduit de la cheminée ou de la chaudière, chauffée à flamme perdue, est un carré de 45 centimètres de côté, soit 20 décimètres carrés, ou le quart de la surface de la grille.

Digitized by Google

Un four à puddler, à deux portes de travail, a une grille de 1m.00 de large sur 0m.90 de long, soit une surface de 90 décimètres carrés. Il brûle environ 1,500 kilogr. de charbon par douze heures pour une production de 2,200 à 2,300 kilogr. de fer, soit, en moyenne, 700 kilogr. de charbon par 100 kilogr. de fer en barres produit.

La consommation en charbon, par décimètre carré de surface de grille et par heure, est de .

$$\frac{1,500}{90 \times 12} = 1^{k}.40,$$

et la section d'écoulement des fumées est la même que pour le four à une porte.

Cette différence, entre les consommations, par décimètre carré de surface de grille et par heure, provient de ce que le travail de chauffeur est tout différent dans les deux fours. Dans le four à une porte il n'y a, pour faire tout le travail, que deux ouvriers, quelquefois aidés d'un gamin, tandis que, dans le four à deux portes, il y a un chauffeur spécialement affecté au service de la grille, et qui est presque constamment occupé à mettre du charbon. Comme moins on met de charbon à la fois, plus on brûle de matières volatiles combustibles, il en résulte que l'économie de combustible réalisée dans le four à deux portes, par rapport à l'autre, tient autant au mode d'alimentation du foyer qu'à la plus grande quantité de fonte traitée à la fois.

Dans les fours à souder, où il y a aussi un chauffeur spécial, la consommation en charbon, par douze heures, est de 2,000 kilogr. pour une surface de grille de 1m.q.20 environ, soit par décimètre carré et par heure :

$$\frac{2,000}{1.20 \times 12} = 1^{k}.40,$$

comme les fours à puddler à deux portes.

On voit, par ces exemples, que la suppression du chauffeur, dans les fours à une porte, n'est bonne que là où le combustible est très-bon marché. Partout ailleurs, le chauffeur est indispensable; mais alors la main d'œuvre augmente d'une manière sensible, et il faut en venir au four à deux portes.

Comme le prix du combustible va sans cesse en augmentant, on peut dire que l'avenir appartient aux fours ayant le plus grand nombre possible de portes de travail.

3° *Chargement de la fonte.* — La charge de fonte à travailler dépend non-seulement de la résistance qu'oppose le fer à abandonner son carbone, mais encore du nombre des portes de travail du four, et surtout de la superficie de la sole.

Si le métal en fusion a une grande épaisseur, sa décarburation est d'autant plus lente que sa surface en contact avec les réactifs est plus petite par rapport à son volume. Cette surépaisseur peut être compensée par un plus grand nombre de bras opérant le brassage; mais alors c'est une dépense de main-d'œuvre en pure perte.

De nombreuses expériences ont été faites pour déterminer les poids des charges les plus convenables et, les soles ayant les dimensions de celles représentées dans les fig. 20 (pl. 26) et 22 (pl. 27), on est arrivé aux résultats suivants, savoir :

| | | |
|---|---|---|
| Pour fours à 1 porte : | Fontes fines. . . . . | 180 kilogr. |
| | Fontes métisses . . . . . | 200 |
| | Fontes au coke . . . . . | 220 |
| Pour fours à 2 portes. . . . . | | 280 |

quelle que soit la fonte; mais ce dernier chiffre est bien plutôt le résultat de la nécessité dans laquelle on est, pour la comptabilité, d'avoir une seule et même charge pour toutes les fontes

Digitized by Google

traitées dans la même usine que le chiffre réellement convenable. Si le four à deux portes était aussi répandu que le four à une porte, les charges seraient, suivant le travail spécial de chaque usine :

| | |
|---|---|
| Fontes fines. . . . . | 260 kilogr. |
| Fontes métisses. . . . . | 280 |
| Fontes au coke. . . . . | 300 |

La densité de la fonte étant, en moyenne, de 7,200 kilogr., le volume théorique de la fonte en fusion est :

| | m. c. |
|---|---|
| Pour 200 kilogr. . . . . | 0.027,8 |
| Pour 280 kilogr. . . . . | 0.038,9 |

Tel serait le volume qu'il faudrait donner à la cuve, uniquement pour fondre le métal; mais la réaction chimique exige un volume beaucoup plus considérable, à cause du bouillonnement qui se manifeste dans la matière quand l'oxyde de carbone se dégage.

La superficie de la sole est, en général, de $0^{mq}.50$ à $0^{mq}.60$ par 100 kilogr. de fonte à décarburer, correspondant, pour une hauteur de cuve égale à 22 centimètres, à un volume de $0^{mc}.125$ à $0^{mc}.150$. Comme 100 kilogrammes de fonte en fusion occupent un volume de $0^{mc}.013,9$, c'est environ dix fois le volume nécessaire au logement de la fonte liquide. Si nous retranchons de ce volume un cinquième, qui est occupé par la sole en scories, on voit que le volume affecté à la décarburation de 100 kilogr. de fonte est égal à huit fois le volume qui est rigoureusement nécessaire à sa fusion. Et ce n'est pas trop, car, quand on puddle des fontes de Champagne, la réaction est si vive, que le laitier coule par les portes pendant le *montage* de la fonte.

Les charges ne sont pas toujours exclusivement composées de fonte; on y ajoute fréquemment de 20 à 30 kilogr. de menues ferrailles, telles que grains, cercles, tortillards, vieilles tôles rouillées, qui, en apportant de l'oxyde pour la décarburation, s'ajoutent au fer produit sans donner beaucoup de déchet. Mais ces ferrailles ne se mettent pas dans le four en même temps que la fonte; elles ne viennent qu'après, à un moment que nous déterminerons plus loin. Contrairement à ce qui se passe dans le feu d'affinerie, la ferraille ne modifie pas le poids de la charge en fonte, qui reste le même.

Quand les fours sont munis de *cassins* (voir C, fig. 21, pl. 27), chaque charge se met dans le cassin immédiatement après que celle qui en a été retirée est mise dans le four. Les passages de la flamme sont combinés de manière que cette dernière ne séjourne pas dans le cassin, parce qu'alors elle y produit une trop haute température et fait fondre la fonte, qui y est seulement pour s'échauffer au rouge. Il suffit, pour cela, de réduire autant que possible, sans nuire au tirage, le passage sur le petit autel et, au besoin, augmenter celui qui suit le cassin.

4° *Décarburation.* — Prenons le four au moment où une charge vient d'en être retirée en cinq, six ou sept boules, suivant son poids total. Le premier acte des ouvriers est de faire tomber l'argile qui bouche le trou *a* (pl. 27, fig. 24), situé au-dessous de la porte, et de faire écouler dans une *charrette* en fonte, d'une capacité suffisante, le laitier liquide qui reste sur la sole.

Quand les fontes sont fines, cette opération est généralement inutile, attendu qu'il n'y a de laitier liquide que quand on a ajouté de mauvaises crasses pour accélérer la décarburation. Quand les fontes sont mauvaises, au contraire, ce laitier est très-abondant, très-corrosif, et doit être enlevé avec le plus grand soin; non-seulement il mange la sole, mais il absorbe une partie des scories douces que l'on jette dans le four pour accélérer la décarburation.

Digitized by Google

Cela fait, on bouche le trou à laitier avec de l'argile, puis on projette des scories douces, provenant des marteaux et des laminoirs, contre les autels. On prend ensuite, morceau à morceau, la charge qui est dans le cassin et on la jette dans le four, puis on la remplace par une autre; on ferme les portes et on donne un bon coup de feu.

Quand le four est à une porte, le personnel se compose, avons-nous dit, de deux puddleurs, un premier et un second, quelquefois d'un aide ou chauffeur.

Quand le four est à deux portes, le personnel se compose de :

1 premier puddleur,
1 deuxième *id.*,
1 troisième *id.*,
1 chauffeur.

Le premier puddleur fait une charge avec le second, une seconde charge avec le troisième, puis se repose pendant la quatrième, qui est faite par le second et le troisième, sous sa surveillance; puis on recommence comme précédemment.

Supposons un four à deux portes :

Au bout de 25 minutes de chauffage, la fonte entre en fusion pâteuse; les ouvriers l'étalent avec le ringard, afin de l'oxyder et d'accélérer sa fusion, puis ils commencent le brassage. Après 5 minutes de brassage, on jette plusieurs pelletées de crasses; 10 minutes après, la fonte monte; c'est pendant la montée qu'il faut jeter la ferraille, s'il y en a. Quand la ferraille est un peu épaisse, on la jette dès le commencement de la montée, afin qu'elle ait le temps de s'échauffer; quand elle est menue, on la jette dès que la fonte est montée. Après 10 minutes de montée, la fonte commence à prendre, c'est-à-dire à devenir acier; on le reconnaît à des monticules de *neige* qu'accumule le ringard du côté des autels. Alors commence la confection des boules; le second puddleur accumule le métal solide vers les autels, et le premier puddleur en fait une boule. Ce travail prend encore 20 minutes, et on *sonne* pour retenir le marteau cingleur.

Le grand art du puddleur consiste à faire en sorte que cette boule soit le type de ce que seront les autres; s'il la confectionne trop vite, elle fait peu de déchet, mais elle est à grains. Cela est bon pour fontes fines, mais ne vaut rien pour fontes phosphoreuses ou au coke.

Quand la première boule est hors du four, il s'empresse d'en terminer ou confectionner une seconde. Un four à deux portes fait de 5 à 6 boules, plus souvent 5 que 6, mais toujours 6 quand elles doivent être passées en plats de 54 millimètres (2 pouces) de large. La confection des boules prend encore 20 minutes.

On peut donc décomposer, ainsi qu'il suit, le temps nécessaire à la conversion, en 5 boules de fer, d'une charge de fonte moyennement réfractaire, savoir :

| | |
|---|---|
| De la mise au four à la fusion pâteuse. . . . . | 25 minutes. |
| De la fusion pâteuse à la projection de la crasse. . . . . | 5 |
| De la projection de la crasse au commencement de la montée. . . | 10 |
| Du commencement de la montée à la formation de la neige. . . . | 10 |
| De la formation de la neige à la formation des boules. . . . . | 20 |
| De la formation des boules à la fin de l'opération. . . . . | 20 |
| Total. . . . . | 90 |

soit 1 heure 1/2.

Quant les fontes sont très-pures, elles prennent quelquefois 2 heures et 2 heures 1/2; dans ce cas, il faut réduire la charge.

Digitized by Google

Quand les fontes sont très-impures, la durée d'une charge est de 1 heure 1/4 ; il est impossible d'aller au-dessous.

Quand on emploie le vent forcé, on gagne un quart d'heure par charge, ce qui permet de faire dix charges, en douze heures, dans le four à deux portes. Dans l'autre cas, il ne faut pas perdre de temps, et mettre moins d'une heure et demie pour faire neuf charges; il n'y a guère qu'avec les fontes au coke et de Champagne qu'on y parvient.

Les outils des puddleurs sont : le *crochet*, pour brasser, et le *ringard*, pour retourner et détacher le fer de la sole. Il ne faut pas oublier que, dès que la fonte se ramollit, elle commence à attaquer la sole, qui, étant molle elle-même, s'en laisse pénétrer, par l'effet de la densité. Si le puddleur n'a pas soin de promener son ringard partout et constamment, le métal pénètre insensiblement dans la sole, se convertit en fer et va se souder à la plaque en fonte qui est dessous.

### Des oxydes métalliques employés à la décarburation.

L'oxyde employé, à peu près exclusivement, à la décarburation de la fonte est le deutoxyde de fer tombant des appareils de cinglage et des laminoirs, soit pur, comme quand il provient des laminoirs à fer marchand et à tôle, soit dissous dans des silicates neutres, comme quand il provient des appareils de cinglage et de laminage des fontes affinées.

Un fait qu'il est important de constater ici, c'est que, partout où l'intelligence a voulu s'écarter des règles de la routine, en substituant l'oxyde de fer naturel à la crasse des forges, elle a toujours échoué, par cette raison toute simple que la condition indispensable pour que le décarburant agisse promptement et occasionne le moins de déchet possible, c'est qu'il se vitrifie facilement au contact du métal, qui prend nature, et l'enveloppe ainsi d'une couche inattaquable par l'oxygène de l'air en circulation. Il est si vrai que l'air a une action oxydante très-prononcée, par rapport au fer, dans l'opération du puddlage, que, quelle que soit la proportion d'oxyde de fer que l'on mette en contact avec la fonte pour opérer la décarburation par réduction de cet oxyde à l'état métallique, le déchet augmente plutôt qu'il ne diminue. En d'autres termes, il ne faut pas espérer la moindre parcelle de fer métallique de l'oxyde employé à la décarburation; il ne faut qu'espérer ne laisser atteindre par l'oxygène que la moindre proportion possible du fer contenu dans la fonte.

Les crasses du cinglage et des laminoirs du puddlage, à part le fer métallique qu'elles contiennent, se trouvent précisément dans les conditions de fusibilité qui sont nécessaires pour faire le moins de déchet possible; mais elles sont loin, à notre avis, de remplir toutes les conditions auxquelles il faut satisfaire, comme on va le voir.

Lorsqu'on se sert, comme décarburant des fontes au coke, de crasses tourbées au cinglage et au laminage de boules de fontes supérieures, sortant soit de fours à puddler, soit de feux d'affinerie, l'opération ne laisse rien à désirer; la fonte au coke donne un fer très-nerveux et excellent pour tous usages à froid. Mais, pour obtenir ce résultat, il faut qu'il y ait au moins autant d'appareils travaillant en fonte supérieure qu'il y a de fours à puddler travaillant en fonte au coke; il faut, de plus, que les fontes supérieures soient puddlées sans crasse, c'est-à-dire à l'eau ou toute autre méthode que nous examinerons tout à l'heure. Ces deux conditions sont à peu près impossibles à remplir aujourd'hui. Ou les forges ne font qu'une seule espèce de produit, et alors la matière décarburante est la propre crasse que donne la fonte employée, ou les forges font plusieurs qualités principales de produits, et alors il y a trois à quatre fours à puddler travaillant en fonte au coke contre un seul travaillant en fonte supérieure.

Il faut donc le dire, quand on puddle avec crasse, il ne faut compter, quant à la qualité à ob-

Digitized by Google

tenir, que sur celle qui correspond à l'emploi de la crasse que donne la fonte même que l'on puddle en majorité. La fonte au coke se trouve donc réduite, en définitive, à n'avoir pour décarburant que sa propre crasse ou laitier gras qui reste adhérent aux boules quand on les sort du four.

Cette crasse suffit généralement quand la fonte au coke est peu riche en carbone, et par conséquent en silicium: mais, dès que la fonte au coke est siliceuse, la crasse qui en provient est alors insuffisante pour opérer une épuration complète du métal, et alors le fer qu'elle donne retient le phosphore et est à facettes; ce n'est qu'en puddlant plus longtemps et en faisant un grand déchet que l'on peut obtenir du fer à nerf.

Quant aux autres fontes, nous n'avons pas besoin de faire ressortir de quelle importance il est de n'employer jamais, comme décarburant, que la crasse provenant d'une fonte de qualité égale ou supérieure, mais jamais de qualité inférieure. Cependant il arrive indubitablement que la même crasse sert pour tous les fours, quand les appareils de cinglage et de laminage sont les mêmes pour tous.

Nous reconnaissons, il est vrai, que la perte de qualité qui résulte, pour un fer supérieur, de l'emploi, pour la décarburation de sa fonte, d'une crasse provenant de fonte inférieure n'est pas excessive; mais il est dans notre nature de ne pas admettre de transaction dans les cas analogues au présent, convaincu que nous sommes qu'il y a là cause d'irrégularité dans la qualité d'un produit supérieur et, par conséquent, rebuts probables.

Comme on le voit, il est assez difficile de pourvoir à l'alimentation des fours à puddler en quantité et qualité suffisantes des matières destinées à la décarburation quand on s'en tient aux propres ressources de la forge même. Il y a bien les battitures des laminoirs à fer marchand, des plaques à dresser, des bâches à décaper les barres qui pourraient s'utiliser mieux qu'elles ne le sont généralement; mais ces battitures sont presque toujours imprégnées de sable que jettent les lamineurs dans les cylindres pour faciliter le passage des barres.

Pour remédier à cet inconvénient, on a imaginé, il y a quelques années, en Angleterre, de retirer du laitier des fours à puddler la portion d'oxyde de fer non saturé qui y est en dissolution. A cet effet, on empile le laitier en morceaux gros comme la tête au plus entre quatre murs, dont deux, opposés, sont munis inférieurement de créneaux correspondant deux à deux par des galeries transversales destinées à servir de foyers; les voûtes de ces galeries sont construites en laitier même.

Au bout de quinze jours d'un feu au charbon de terre assez violent et quinze autres jours de refroidissement, on obtient, en démolissant l'un des murs qui sert de porte d'introduction de la matière, une masse formant deux couches bien distinctes, savoir :

1° A la partie inférieure, une épaisseur de 0m.60 de silicate de fer fondu et remplissant exactement l'espace;

2° A la partie supérieure, une agglomération d'éponges d'oxyde à peine déformé, mais privé du silicate liquide qu'il contenait en dissolution.

Y avait-il réellement là dissolution ou mélange? C'est ce qu'il est assez difficile de dire; cependant les laitiers ne diffèrent des verres ordinaires que par la base qui les colore en noir. Nous pensons qu'il y avait dissolution uniquement par ce motif que la composition et la texture des laitiers, comme celles des verres, sont homogènes et uniformes.

Quelque ingénieuse que soit cette méthode de se procurer du deutoxyde de fer assez impur pour être fusible à une haute température, mais pas assez impur pour être tout à fait fusible et sans action dans la décarburation, il faut dire qu'elle ne laisse pas que d'être fort coûteuse et ne remplit qu'imparfaitement son but.

Digitized by Google

En effet, quels sont les laitiers qu'il convient de traiter de cette manière pour en retirer l'oxyde? Ce ne sont pas les laitiers provenant du puddlage des fontes supérieures; ceux-là contiennent trop peu ou point de silicate de fer pour qu'il soit nécessaire de le leur enlever par une opération spéciale. Ce ne sont pas non plus les laitiers provenant du puddlage des fontes au coke inférieures, ceux-là sont presque généralement du silicate de protoxyde qui, par le recuit, coule tout entier et ne laisse que des quantités insignifiantes d'oxyde utilisable.

C'est donc dans les fontes mélangées ou au coke de bonne qualité qu'il faut rechercher les laitiers riches en oxyde de fer.

Convaincu que le puddlage donnera toujours de bons résultats, quel que soit l'oxyde employé, pourvu que le métal réduit de cet oxyde ne nuise pas à la qualité du fer, nous avons fait des essais de décarburation au four à puddler, en substituant l'oxyde de zinc à la crasse de la fonte. Les résultats que nous avons obtenus ont été assez satisfaisants pour que nous ayons la conviction que, appliqué en *Belgique* sur une grande échelle, ce procédé de décarburation rendrait de grands services à l'industrie métallurgique de ce pays. Dans ce cas, le décarburant serait non pas l'oxyde de zinc, mais la calamine, que l'on y trouve en si grande abondance, et que l'on mélangerait, aussi intimement que possible, avec les crasses de la forge, avant de l'employer, afin, d'une part, de la rendre fusible et, d'autre part, de continuer à utiliser les crasses, qui contiennent toujours un peu de fer métallique.

La calamine mélangée de scories douces ferait, à notre avis, une excellente sole, à cause de la qualité réfractaire du silicate de zinc. Nous regrettons de n'avoir pas encore eu occasion de faire l'essai d'une sole de ce genre.

### Des divers modes de décarburation dans le four à puddler.

Nous venons d'examiner tout au long la méthode de décarburation de la fonte par addition d'oxyde métallique dans le four; nous allons maintenant dire quelques mots des méthodes anciennement employées et qui survivent encore aujourd'hui dans quelques cas de traitement des fontes supérieures. Ces méthodes, que l'on peut qualifier du nom unique de *puddlage sans crasse*, se divisent en deux principales, dont l'une est le *puddlage à l'air* et l'autre le *puddlage à l'eau*.

Le puddlage à l'air consiste à ne mettre dans le four que de la fonte soit sur sole en sable, soit sur sole en scories, puis à brasser la matière, autant que possible, à l'état mou, jusqu'au moment où le fer prend nature. C'est, on peut le dire, le travail le plus pénible que l'on puisse imaginer, c'est l'enfance de l'art. Tant que l'on a supposé que l'affinage du fer par le procédé du puddlage était le résultat de l'action de l'oxygène de l'air sur le carbone de la fonte, on a dû subir cette méthode, qui était la seule rationnelle, ou laisser, comme primitivement, la fonte se puddler toute seule dans un courant d'air, ce qui permettait de faire une charge en vingt-quatre heures. On avait soin de maintenir la fonte aussi longtemps que possible à l'état pâteux, parce que, dans cet état, l'oxydation du métal se fait d'autant mieux, qu'il n'est pas indispensablement recouvert d'oxyde et peut se trouver en contact direct avec l'oxygène, tandis que, quand le métal est liquide, il est toujours couvert d'un bain de laitier, moins dense, qui empêche l'oxygène de l'air de l'attaquer.

Le puddlage à l'air est, quelque peine qu'on se donne, un procédé très-long et plus propre à donner de l'acier que du fer; aussi les fontes que l'on traite par ce procédé sont-elles toujours des fontes supérieures, et les fers que l'on obtient des *fers forts*. Les fontes au coke ne donneraient que des fers à facettes de la pire espèce. La durée de l'opération est double de ce qu'elle est quand on emploie la crasse, mais il faut convenir que le produit est plus pur, en ce

Digitized by Google

sens qu'aucune matière étrangère n'a été introduite dans le four, et que tout l'oxyde produit a été fondu.

Ne pouvant jeter de crasse dans leurs fours, les ouvriers imaginèrent d'y jeter de l'eau; de là l'origine du *puddlage à l'eau*.

Le puddlage à l'eau a trois causes de succès :

La première est l'emploi de l'eau comme moyen de rafraîchir la fonte pâteuse quand, s'échauffant trop, elle est sur le point de se liquéfier.

La seconde est l'emploi de l'eau comme moyen d'oxyder promptement le métal et d'accélérer la décarburation.

La troisième est l'emploi de l'eau comme moyen de faire tremper la fonte liquide et de la convertir en fonte blanche fusible, il est vrai, à plus basse température que la grise, mais restant longtemps à l'état pâteux avant de se liquéfier.

Le puddlage à l'eau n'est donc, comme on le voit, qu'une variante du puddlage à l'air, qui rapproche plus ou moins ce dernier du puddlage avec crasse, suivant la manière dont on procède.

Quand on puddle froid, c'est-à-dire en maintenant la fonte pâteuse, la proportion d'eau à jeter est très-faible; elle oxyde le métal de la fonte, comme dans les autres cas, mais elle agit principalement comme rafraîchissement de la matière.

Quand on puddle chaud, c'est-à-dire en liquéfiant la fonte, si on ne jette que peu d'eau à la fois, on ne fait pas figer le métal, on produit seulement de l'oxyde qui accélère la décarburation et la rend identique avec la méthode du puddlage avec crasse.

Quand on veut puddler en fonte blanche, la marche que suit l'opération tient à la fois des deux méthodes précédentes. En effet, dans ce cas, on chauffe fortement, de manière à mettre la fonte en fusion, puis on projette sur le bain de 10 à 20 litres d'eau à la fois; on refroidit ainsi subitement le four, et la fonte trempe sur une épaisseur de $0^m.02$ à $0^m.03$; on la laisse alors refondre, ce qui a lieu assez vite, et on s'empresse de la brasser dès qu'elle se ramollit; on compose ainsi un mélange pâteux contenant une assez grande proportion d'oxyde qui, par le brassage, se mêle à la fonte et accélère sa décarburation.

Comme on le voit, ces procédés sont des moyens factices d'arriver à la décarburation normale sans l'emploi de matières étrangères, de manière à conserver au fer la pureté de la fonte dont il provient.

5° *Confection des boules.* — Quand le fer commence à prendre nature, c'est-à-dire à se constituer à l'état de neige d'acier, on le ramasse dans les coins du four pour permettre à la fonte en retard d'achever sa première décarburation.

Quand le fer est entièrement ramassé, on le retourne; pour cela, on le ramène au centre de la sole et le brasse de nouveau dans tous les sens pour renouveler les couches d'oxyde en contact avec sa surface et accélérer ainsi la deuxième décarburation. Cette opération est d'autant plus longue, que la qualité de la fonte est meilleure; les fontes au coke n'ont souvent pas le temps de se ramasser, elles soudent, et il faut immédiatement faire les boules.

On voit que la décarburation de l'acier approche de sa fin quand la matière, ramassée de nouveau dans les coins, commence à souder. On procède alors à la confection des boules.

La confection des boules consiste à détacher avec le crochet une partie du fer ramassé et à le rouler sur la sole du four comme une boule de neige pour lui faire prendre la forme ronde, diminuer son volume et ramasser les parcelles de métal égarées sur la sole.

Le nombre des boules d'une même charge varie suivant l'échantillon de la barre en laquelle chacune d'elles doit être étirée.

L'épaisseur des barres de fer puddlé étant la même pour toutes les barres, on comprend que



Digitized by Google

plus la largeur des cannelures est petite, plus la barre est longue, à poids égal de boule étirée. Comme il convient, pour le service, que les barres ne soient pas trop longues, on est dans l'usage de faire de sept à huit boules dans une fournée de 280 kilog. fonte, pour étirer en barres de 0m.054, et cinq au plus pour étirer en barres de 0m.162. L'usage des anciennes mesures n'ayant encore pu être extirpé de la métallurgie du fer, nous allons donner en pouces les largeurs des barres correspondant aux divers poids des boules sortant du four.

Admettant que, pour charge de 280 kilog , le rendement en fer est 250 kilog., les poids moyens des barres et nombres des boules sont les suivants pour les différentes cannelures de cylindres :

| Largeur des cannelures. | Nombre des boules. | Poids moyen des barres. |
|---|---|---|
| 6e | 5 | 50 kilog. |
| 4e | 6 | 42 |
| 3e | 7 | 36 |
| 2e | 8 | 32 |

La durée moyenne du temps qui s'écoule entre le moment où le fer commence à prendre nature et celui où on commence à *arracher* les boules hors du four est de vingt minutes.

---

## CHAPITRE IV.

### DU TRAITEMENT DE LA FERRAILLE AU FEU SOUFFLÉ.

L'affinage de la ferraille, au feu soufflé, est un véritable *affinage chimique*, en ce sens que, loin de consister en un simple soudage, comme on pourrait le croire, il y a conversion de la ferraille en acier suffisamment saturé pour être fusible à la température de l'appareil.

Le traitement de la ferraille, au feu soufflé, diffère peu, du reste, de celui de la fonte; pour l'effectuer, on commence par bien remplir le creuset de charbon de bois, on donne le vent, et, quand le combustible est bien allumé, on projette dessus une partie de la charge à traiter, en ayant soin de la bien comprimer, et même de la recouvrir de charbon, si elle n'occupe pas un trop fort volume. Au bout de quelques instants, la ferraille s'échauffe et se cémente dans le carbone incandescent, jusqu'au moment où, devenue suffisamment fusible, elle coule en gouttelettes au fond du creuset, non sans faire un déchet assez notable, exposée comme elle l'est, dans les régions inférieures du creuset, à l'action plus ou moins vive de l'oxygène qu'y projette sans cesse la tuyère. Mais, la température étant propice à la réaction de l'oxyde de fer sur le carbone de l'acier fondu, la décarburation du métal s'effectue avec d'autant plus de facilité que l'oxyde est à peu près pur, et non à l'état de silicate, comme quand on affine la fonte. Aussi convient-il, quand on affine la ferraille au feu soufflé, de ne pas faire couler le laitier pendant toute la durée de l'opération. Au fur et à mesure que la ferraille, déposée sur le charbon incandescent, disparaît, on en ajoute de nouvelle avec du nouveau charbon, et ainsi de suite.

Quand on a soin d'abaisser la sole du creuset ou de relever la tuyère avant l'opération, ce qui, en éloignant le métal affiné du vent de cette dernière, permet de donner à ce dernier une plus grande énergie, on peut faire douze charges de 100 kilogrammes en douze heures. Dans ce cas, 1,000 kilogr. de fer brut étiré en barres consomment :

Ferraille, de 1,150 à 1,350 kilogr., suivant la qualité et la grosseur des morceaux;

Charbon, de 300 à 400 kilogr. La rapidité de l'opération et, par suite, le peu de consommation

Digitized by Google

en charbon de bois s'expliquent par la nature même de la matière traitée qui, n'ayant pas besoin, comme la fonte, de perdre 4 à 5 pour 100 de carbone, ne comporte que la deuxième fusion de cette dernière, pour former une boule bonne à cingler.

L'affinage, au feu soufflé, de la ferraille seule est peu employé, parce qu'il n'est avantageux que pour un petit nombre de ferrailles spéciales qui seraient insuffisantes pour l'alimenter. Ainsi les *déchets de perles*, les *rognures irrégulières* de *fer noir* à *fer-blanc brillant*, les *tournures* de *bandages* des chemins de fer, toutes matières menues qui ne peuvent être lopinées avantageusement et proviennent de fontes supérieures affinées au charbon de bois, ces matières, traitées au feu soufflé, donnent un fer qui figure avantageusement, soit comme *fer fort supérieur*, soit comme *forgé inférieur*, et revient à un prix infiniment moindre que fabriqué avec de la fonte. Quelques ferrailles choisies, autres que celles désignées ci-dessus, sont dans le même cas; mais la production de ces matières est limitée, et on ne peut compter sur elles pour une fabrication courante.

Quand, au contraire, on traite la ferraille en mélange avec la fonte, en proportions convenables, non-seulement on est sûr de ne pas manquer de matières premières, mais encore on réalise une économie sensible. Ainsi, en composant les charges de 25 kilogr. *rognures* de grosses tôles *forgées* et 75 kilogr. fonte *supérieure*, on obtient un fer aussi bon que celui qui provient du traitement de la fonte pure; en outre, on peut porter le nombre des charges à dix par douze heures, au lieu de huit, ce qui réduit les consommations, par 1,000 kilogr. de fer brut étiré en barres, à :

| | |
|---|---|
| Matières premières. . . . . | 1,100 à 1,200 kilogr. |
| Charbon. . . . . | 500 à 600 kilogr. |

De même, 25 kilogr. rognures noires menues de fer-blanc brillant et 75 kilogr. fonte supérieure donnent un fer un peu moins bon que le précédent, mais suffisamment bon pour fer-blanc brillant. Les consommations sont les mêmes que dans les cas précédents. On voit, par ces exemples, que plus l'épaisseur de la ferraille ajoutée à la fonte dans le feu de l'affinerie diminue, à quantité égale, plus la qualité du produit diminue aussi. Ce fait, qui provient, sans contredit, de l'influence des chaudes successives sur le métal, est bon à noter ici comme résultat d'expériences auquel il faut se soumettre. Si donc on prend les rognures de tôles, comme types des épaisseurs de ferrailles à affiner, soit pures, soit mélangées avec la fonte, dans le feu soufflé, on peut classer les qualités des produits obtenus dans l'ordre suivant, savoir :

| Composition. | Qualité. |
|---|---|
| Fonte pure. . . . . | forgé supérieur. |
| 3/4 fonte, 1/4 grosses rognures de tôle forgée. . . . . | forgé première. |
| 3/4 fonte, 1/4 moyennes rognures de tôle forgée. . . . . | forgé deuxième. |
| 3/4 fonte, 1/4 rognures fines de tôle forgée. . . . . | forgé troisième. |

En remplaçant les rognures de tôles forgées par des rognures de fer fort, les qualités baissent d'un degré à épaisseurs égales des rognures, si bien que les rognures fines de fer fort, mélangées à la fonte, ne donnent plus que la qualité fer fort supérieur, correspondant aux ferrailles supérieures affinées pures. Nous ferons ressortir toutes ces nuances quand nous parlerons de la fabrication du fer fini.

Digitized by Google

## CHAPITRE V.

### DU TRAITEMENT DE LA FERRAILLE AU FOUR A RÉVERBÈRE; SOUDAGE EN VRAC.

L'affinage de la ferraille, au four à réverbère, diffère des affinages précédemment décrits en ce que, là, le chauffage a exclusivement pour but le *soudage* du métal, et que la réaction chimique n'en est, comme dans le *corroyage*, qu'une conséquence involontaire, tandis que, dans les autres, la réaction chimique en est sinon la principale cause, du moins le résultat le plus immédiat.

Mais, comme le fer qui résulte de ce mode de soudage n'est que du fer brut, sa place est nécessairement ici.

L'affinage de la ferraille au four à réverbère, ou puddlage de la ferraille, s'effectue soit sur sole en sable, soit sur sole en laitier avec ou sans vent.

L'affinage de la ferraille sans vent est lent, peu soudant, et fait beaucoup de déchet.

L'affinage au vent, au contraire, est assez expéditif pour permettre de faire une charge de 60 kilogr. de vieille tôle mince rouillée en 10 minutes et cinquante charges au moins par douze heures, avec consommation de 1,300 ferraille et 700 charbon, pour 1,000 de fer étiré en barres. Les autres ferrailles se puddlent ainsi au moins aussi vite que la vieille tôle, surtout la grosse tournure, qui va jusqu'à soixante-cinq charges dans les douze heures, correspondant à une consommation de, au plus, 1,150 ferraille pour 1,000 fer en barres, quand elle est propre. La production serait encore plus élevée si on n'était obligé de réchauffer les boules cinglées dans un coin du four, avant de les passer au laminoir, pour faire souder les parties extérieures qui se refroidissent très-promptement en sortant du four. En faisant ainsi séjourner, près de l'autel, pendant la durée de chaque charge, soit 10 minutes, la boule provenant de la charge précédente, on obtient, au laminoir, des barres plates et blettes assez propres pour être converties directement en fer au petit mill, sans couverture.

Le four à ferraille est l'appareil où il se produit le plus de fer brûlé, parce que la ferraille qu'on y traite est généralement menue. De plus, quand on ne trie pas avec soin les vieilles ferrailles rouillées, et surtout les vieilles tôles fines, il s'y trouve des ferrailles étamées qui produisent des effets désastreux sur le produit; ce sont surtout les tôles fines étamées ou plombées avec alliage d'étain qui produisent ces effets.

En masse, l'étain, le cuivre, le zinc, le plomb ne produisent aucun effet, et se brûlent ou coulent dans la sole. Nous nous sommes convaincu de ce fait en mettant, successivement, dans quatre charges de ferraille, 1 kilogr. des métaux suivants: cuivre rouge, étain, zinc et plomb. Le zinc s'est volatilisé complétement et converti, au contact de l'air, en protoxyde qui sortait en gros flocons par la porte; le plomb a coulé, en partie, dans la sole, et s'est en partie volatilisé comme le zinc, laissant une cendre jaune de protoxyde sur les ringards et les portes par lesquelles il s'échappait; le cuivre et l'étain ont coulé dans la sole, tant à l'état métallique qu'à l'état d'oxyde saturé par la silice.

Le fer des quatre charges, converti en fer marchand, n'a accusé la présence d'aucun des quatre métaux; seulement il y a eu des différences de qualité peut-être accidentelles, et des différences de rendement très-notables que nous donnons ici:

Digitized by Google

| Charge. | | | Rendement. | | Qualité. |
|---|---|---|---|---|---|
| 60 kilogr. de ferraille | contenant 1 kilogr. de | plomb en lingot. . | 50 kilogr., | | très-beau nerf; |
| *Id.* | *id.* | zinc *id.* . . . | 45 | » | nerf magnifique; |
| *Id.* | *id.* | étain *id.* . . . | 40 | » | beau nerf; |
| *Id.* | *id.* | cuivre *id.* . . . | 35 | » | nerf court. |

Quelque peu concluants que puissent être ces résultats, constatés sur une seule expérience, on peut dire qu'ils sont d'accord avec ce que l'on observe généralement. Ainsi le cuivre empêche le fer de souder; c'est surtout dans le four à puddler la fonte que les effets du cuivre sont désastreux. L'étain produit le même effet que le cuivre, quand il ne se dissout pas dans le fer, mais à un degré d'intensité moindre, étant plus oxydable. Le plomb s'oxyde très-vite et se convertit en litharge, qui est un excellent fondant pour décaper les surfaces; le zinc se volatilise et s'oxyde comme le plomb; mais, si l'oxyde de zinc fond, ce n'est que sous l'influence de l'oxyde de fer, car, seul, il est infusible. Quant à la qualité supérieure qu'a accusée sa barre, nous n'osons nous prononcer, quoiqu'il soit avéré que la plupart des minerais zincifères donnent des fers supérieurs, eu égard à leur traitement, bien qu'il ne reste pas un atome du métal dans le fer.

Nous avons dit que le puddlage de la ferraille se faisait indifféremment sur sole en sable et sur sole en scories. La sole en sable présente l'avantage de chauffer infiniment plus à cœur et plus promptement que la sole en scories, n'étant pas, comme cette dernière, entourée d'un courant d'air qui refroidit l'intérieur du four; aussi est-elle exclusivement préférée. Ce qui porte à tenter le puddlage de la ferraille sur sole en scories, auquel cas il faut donner très-peu de profondeur à la cuve, c'est que la ferraille donne un laitier gras qui se perd dans la sole, quand elle est en sable, et coule à l'état de silicate plus ou moins oxydé, comme dans les fours à réchauffer le fer.

Si la ferraille soudait aussi facilement sur sole à courant d'air que sur sole en sable, non-seulement il n'y aurait pas à refaire la sole toutes les six heures, comme quand elle est en sable, mais encore on utiliserait le laitier à puddler des charges de fontes siliceuses, que l'on alternerait avec la ferraille, soit six charges de ferraille contre une charge de fonte.

Mais le jour où ce procédé réussirait pour le puddlage de la ferraille, même au vent, serait l'inauguration du puddlage et du réchauffage du fer en paquets dans les mêmes fours. Ce serait certes un beau problème à résoudre que de substituer avantageusement le four à puddler au four à réchauffer, mais nous doutons fort que l'on y arrive avec la disposition actuelle du premier, non-seulement à cause du refroidissement qui a lieu sur toute l'enveloppe de la cuve, mais encore à cause de la combustibilité des métaux qui forment les garde-cendres, ainsi que de la difficulté qu'il y aurait à manœuvrer des lopins dans un four dont la sole est située à 20 centimètres en contre-bas du seuil de la porte.

En résumé, le puddlage de la ferraille est une opération essentiellement identique avec le réchauffage du fer. L'emploi du tirage par inspiration y est de rigueur, parce que, dans ce cas, le four, en partie bouché à la cheminée, contient généralement moins d'oxygène libre que quand le tirage a lieu par aspiration, et aussi parce que le développement de la température nécessaire au soudage a lieu presque instantanément. Cela ne veut pas dire que l'emploi du vent aux fours à souder le fer en paquets ou lopins n'est pas nécessaire, mais seulement que ce mode de chauffage y est moins indispensable, l'épaisseur du métal et la disposition des lopins étant calculées pour que l'air attaque le moins possible le métal.

Digitized by Google

# TITRE III.

## DU SOUDAGE.

Nous n'avons à nous occuper ici du *soudage* qu'en ce qui concerne le *serrage*, les *boules* sortant des appareils précédemment décrits, étant toutes à la température du *blanc soudant* et soudées en partie.

Les divers appareils employés, dans les forges, au *serrage* ou *cinglage* des *boules* ou *loupes* sont au nombre de quatre, savoir :

Le cingleur rotatif;
Les cylindres ébaucheurs;
La presse;
Le marteau.

### § 1er. Cingleur rotatif.

Le cingleur rotatif (pl. 28, fig. 25, 26, 27) est un instrument fort ingénieux, qui n'a d'autre inconvénient que d'avoir compté sans son hôte ; aussi son usage, loin de s'accroître, diminue-t-il tous les jours. Le but principal du cingleur rotatif était d'économiser la main-d'œuvre, en accélérant le travail. Il remplit bien ce but, mais avec une seule espèce de fer, celui qui provient des fontes phosphoreuses au bois, telles que les fontes de Champagne, par exemple. Pour toutes les autres il est ou dangereux ou insuffisant.

Cet appareil consiste en une capacité annulaire à génératrices verticales, comprise entre deux parois cylindriques, l'une fixe A, l'autre rotative B, ayant leurs axes à une distance l'un de l'autre calculée d'après le serrage que doit subir la boule pour être soudée intégralement. Cette capacité annulaire est fermée en dessous par un disque attenant au cylindre intérieur, en dessus par un disque indépendant dudit cylindre, mais enchâssé dans le même arbre, et pouvant se fixer à différentes hauteurs, de manière à refouler convenablement les extrémités des boules, quel que soit leur poids.

La boule s'introduit dans l'appareil par l'orifice *c*, roule sur elle-même entre les deux cylindres et sort par l'orifice D, cinglée et bonne à étirer, quand la matière dont elle se compose se prête au travail de l'appareil Les dentelures dont sont armées les surfaces cylindriques presseuses ont pour but de forcer la boule à tourner sur elle-même et à toujours avancer pendant la rotation du cylindre intérieur.

Quand les fers sont durs, mais soudables, comme ceux qui proviennent des fontes supérieures, affinées soit au feu soufflé, soit au four à réverbère, l'opération marche bien ; seulement, comme la résistance de ces fers à la compression est énorme, surtout quand ils sont trop décarburés, il y a, à chaque boule qui passe, danger de tout briser.

Quand les fers sont tendres, mais rouverins, comme les fers de fonte au coke, la boule, loin de suivre le mouvement de rotation que tend à lui imprimer l'appareil, se déchire et arrive en poussière à l'extrémité de sa course.

Digitized by Google

Il n'y a donc réellement, comme nous l'avons dit, que les fers tendres et soudables qui puissent être pressés avantageusement au moyen de cet appareil. Or, dans les forges un peu complètes, cas en face duquel nous nous plaçons dans cet ouvrage, il faut être en mesure de cingler, au même appareil, toutes les qualités de fer, à moins que cela soit radicalement impossible; cela ne l'étant pas, le cingleur rotatif ne peut, conséquemment, être qu'un appareil spécial à usages restreints.

### § 2. Cylindres ébaucheurs.

Les cylindres ébaucheurs (fig. 28), qui fonctionnent parfaitement comme appareils de serrage, lorsqu'il s'agit de *paquets* ou *lopins* de fer brut, *ébauché* ou *corroyé*, ne remplissent pas tout à fait le même but, à notre avis, lorsqu'il s'agit de boules sortant des appareils d'affinage chimique, par cette raison, que nous développerons en parlant de l'étirage, que l'introduction des pièces dans les cannelures ne peut avoir lieu qu'autant que les dimensions relatives de ces pièces et cannelures sont dans un rapport déterminé. Quand il s'agit de serrage d'une boule, la densité du volume occupé par le métal étant beaucoup moindre que celle du volume occupé par un paquet ou un lopin, il faut, pour que le soudage ait lieu, que le serrage, dans chaque cannelure, soit beaucoup plus grand; sinon, il est imparfait, et il reste beaucoup de laitier intercalé. Or les densités des paquets et lopins sont sur la limite que comporte le rapport nécessaire des dimensions relatives, pour que les cannelures prennent les pièces à serrer et opèrent efficacement. Il en résulte que l'on peut toujours faire prendre une pièce de densité moindre, mais le serrage de la première cannelure est insuffisant; il faut serrer, sans étirer, à la seconde et à la troisième, si bien que, quand le serrage commence à opérer partout, le laitier est déjà refroidi et ne sort pas.

Quand on applique ce mode de cinglage aux fers tendres à scories crues, ce n'est pas un grand inconvénient, parce qu'une chaude suante, au finissage, met facilement ce laitier en fusion; mais, quand il s'agit de fers durs, il n'en est pas ainsi; le laitier est, nous l'avons dit, presque aussi réfractaire que le métal lui-même, et les fers restent indéfiniment pailleux et souffleux.

Ce mode de serrage, en ce qui concerne le fer brut, ne convient donc réellement que pour les fers tendres et rouverins, c'est-à-dire aux qualités tout à fait inférieures, qui contiennent toujours les éléments d'un laitier fusible, tels que le *silicate*, le *phosphure* et le *sulfure de fer*.

### § 3. Presse.

La presse (fig. 29, 30) est le meilleur et le plus économique de tous les appareils de cinglage, quand les fers ne sont pas durs; elle peut être accidentellement employée pour ces derniers, mais elle ne convient pas, à beaucoup près, pour leur cinglage, autant que le *marteau-pilon*.

Le grand avantage de la presse, c'est de, tout en opérant convenablement, ne pas nécessiter d'ouvriers spéciaux pour les fours à puddler à deux portes.

Quelle que soit la qualité des fers tendres, il y a toujours moyen de les faire souder à la presse, à moins qu'ils soient tout à fait insoudables, auquel cas ils ne conviennent pour aucune des autres opérations. L'expulsion des laitiers est prompte, énergique et aussi complète qu'on peut le désirer, quand le métal cède à la pression.

Elle consiste en deux mâchoires, dont l'une fixe A repose sur le sol, et la seconde B, mobile autour d'un axe, reçoit son mouvement de la machine par l'intermédiaire d'une bielle et d'une manivelle.

Comme chaque coup de presse produit un choc qui a son contre-coup sur l'arbre qui la met

Digitized by Google

en mouvement, il convient que cet arbre soit muni, aussi près que possible de la bielle, d'un volant puissant, soit par son diamètre, soit par son poids. Quand la transmission du mouvement est dans le sol, une forte bague en fonte, faisant manivelle, convient parfaitement.

Une précaution qu'il convient aussi de prendre quand on emploie la presse, c'est de la munir de boîtes de sûreté au-dessus de ses tourillons d'oscillation, afin que, si la résistance du métal à la compression est trop forte, soit par suite de sa qualité, soit parce qu'il est trop froid, ces boîtes, cassant, permettent son soulèvement et évitent ainsi la rupture de l'assemblage. Les boîtes de sûreté employées dans ce cas sont des cylindres en fonte creux, à base elliptique, ayant la longueur des coussinets, et une épaisseur qui dépend de la résistance de la fonte dont ils se composent et de la résistance que peut supporter l'assemblage sans se casser.

### § 4. Marteaux.

Autrefois on employait, pour le cinglage des boules, une foule de marteaux à *manche*, recevant leur mouvement tantôt par *derrière*, tantôt sur le *côté*, tantôt par *devant*. De tous ces marteaux, qui existent encore dans les petites usines, le plus énergique était le *marteau frontal* (fig. 31, 32), qu'employaient les forges anglaises, et qui diffère principalement des autres en ce que l'axe d'oscillation, le manche et la tête sont d'une seule pièce en fonte d'un poids assez considérable, mais d'une petite levée. Tous ces marteaux présentaient le grave inconvénient de ne pouvoir s'arrêter instantanément, et d'exiger, pour le cinglage des boules, des ouvriers parfaitement exercés. Depuis les inventions de la *presse* et du *marteau-pilon*, qui laissent à l'ouvrier toute la latitude pour retourner la boule et la relever pour le refoulage des bouts, ces outils sont devenus d'un intérêt très-secondaire et ne méritent que d'être signalés.

Le vrai marteau de serrage, aujourd'hui, est le *marteau-pilon* (fig. 33, 34, 35, 36, 37), inventé, il y a vingt ans, par M. *Bourdon*, alors ingénieur en chef du Creusot. Il consiste en un bloc de fonte d'un poids illimité, s'élevant, entre deux guides, à une hauteur également illimitée, sous l'influence d'une tige en *fer* ou en *acier* terminée par un piston qui se meut dans un cylindre à vapeur dont la course est égale à la sienne propre. Ce piston est conduit par un ouvrier dit *pilonnier*, qui peut être un enfant, et n'a besoin que d'adresse soit pour l'arrêter à temps et varier sa chute, soit pour modérer sa descente, quand il s'agit de lui faire prendre une position déterminée.

Dire les services que cet admirable appareil a rendus à la métallurgie est chose presque impossible.

Le marteau-pilon, pesant 2,000 kilogr. et ayant une chute de 1m.50, non-seulement peut remplacer la presse pour le cinglage des fers tendres, mais encore convient pour les fers les plus durs. Il donne tous les coups que l'on veut, au-dessous de son maximum d'effet, qui est de 3,000 kilogrammètres. Mais il est plus coûteux que la presse, en ce sens qu'il exige non-seulement un pilonnier, mais encore un ouvrier spécial, pas aussi habile que le *marteleur* du marteau frontal, mais connaissant assez l'outil pour ne pas se faire casser les bras sous l'influence des coups portés à faux.

*Résumé.*

Le *cingleur rotatif* convient exclusivement pour les fontes de *Champagne* et analogues.

Le *cylindre ébaucheur* convient exclusivement pour les fontes au *coke* destinées à la fabrication des *rails* et produits analogues.

Digitized by Google

La *presse* convient pour toutes les fontes *tendres*.

Le *marteau-pilon* convient pour toutes les fontes tendres ou dures.

Dans une usine bien organisée, il faut nécessairement avoir *presse* et *marteau-pilon* : la *presse*, parce que son cinglage est plus économique que celui du marteau-pilon, pour la majeure partie de boules à cingler; le *marteau-pilon*, parce qu'il est indispensable pour les fontes dures, convient pour les fontes tendres et est propre à une foule d'autres usages que nous indiquerons ultérieurement.

# TITRE IV.

## DE L'ÉTIRAGE.

Quand les boules sont cinglées, on les divise toujours en deux catégories distinctes, savoir :

Les boules à réchauffer, soit immédiatement, soit ultérieurement;
Les boules à étirer immédiatement sans réchauffage préalable.

*Boules à réchauffer.* — Les boules à réchauffer sont tantôt volontaires, tantôt accidentelles; elles sont volontaires quand on les destine à la fabrication d'échantillons chez lesquels le soudage intégral est indispensable, comme les *fers à rivets*, par exemple. Si la matière première employée est de la fonte de *Champagne* ou toute autre qui, quoi qu'on fasse, à l'affinage chimique, ne retient qu'imparfaitement le carbone, il convient d'éviter, autant que possible, le corroyage, qui donne toujours des *pailles* ou *doublures*, et d'étirer directement l'échantillon du métal réuni en bloc aussi homogène que faire se peut, au sortir de l'affinage chimique. Ces boules se cinglent, de préférence, au marteau.

Les boules à réchauffer sont involontaires quand il en arrive un trop grand nombre à la fois à l'étirage, pour que ce dernier puisse avoir lieu, pour toutes, à une température convenable : il faut alors en éliminer quelques-unes qui seront forcément réchauffées.

Elles sont encore involontaires quand, par suite d'accident, les appareils d'étirage sont arrêtés instantanément. La perte qui résulte de ces deux circonstances est peu importante, quand elle ne se renouvelle pas trop souvent et est préférable à la dépense qu'occasionnerait la construction d'appareils de rechange; ce qu'il faut avant tout, quand l'affinage chimique fonctionne, c'est que le cinglage soit assuré, car une boule non cinglée est presque perdue.

La superficie des boules cinglées n'est jamais soudée intégralement; elle est, au contraire, très-pailleuse : il résulte de là que le réchauffage des boules se fait toujours *suant*, et se prolonge d'autant plus que le calorique a plus de peine à pénétrer à cœur dans les blocs.

Un caractère particulier aux barres provenant des boules réchauffées est d'accuser presque toujours une texture grenue ou à facettes, suivant la qualité du métal. C'est là un des plus graves inconvénients des boules réchauffées involontaires, quand la qualité du métal est inférieure. Si, par exemple, on prend vingt boules de fonte au coke cinglées, en étire dix immédiatement sans réchauffage et laisse refroidir les dix autres :

Les premières, cassées froides, accusent une texture moitié *nerf*, moitié *facettes;* les secondes, au contraire, réchauffées, étirées et cassées froides, accusent une texture entièrement à facettes. Cela provient de ce que (page 2) le métal, ayant refroidi lentement, à l'état de boule, a cristallisé d'autant plus facilement qu'il est plus impur.



Digitized by Google

Les barres provenant des boules réchauffées, étant toutes bien soudées superficiellement, ne se classent généralement pas dans la catégorie des *fers bruts;* elles constituent une catégorie intermédiaire entre le fer *brut* et le fer *ébauché*, et sont employées, tantôt comme l'un, tantôt comme l'autre, suivant la nature des échantillons pour la fabrication desquels on les utilise. En général, les boules réchauffées involontaires s'étirent de préférence en barres carrées, à faces bombées, sous le nom de *billettes* ou *blettes*, et servent à la fabrication des petits fers finis, en barres, pour lesquels l'étirage en paquets serait insuffisant, et nécessiterait, soit un ébauchage et un corroyage, soit un plus gros paquet et un étirage en deux chaudes. Nous reviendrons sur cette question, lorsqu'il s'agira de la fabrication du fer fini en barres.

*Boules à étirer immédiatement.* — L'étirage des boules cinglées peut s'effectuer au marteau, mais il ne peut guère aller au-dessous d'une section, soit carrée, soit plate, de 50 centimètres carrés; il est, en outre, plus coûteux que l'étirage au laminoir, et ne présente aucun autre avantage sur ce dernier. C'est au laminoir que doit avoir lieu exclusivement l'étirage des boules cinglées non destinées au réchauffage.

Ces boules, ne convenant généralement pas pour la confection des blettes, parce qu'elles donnent des barres trop pailleuses, sont toutes destinées à la confection des paquets qui, comme nous l'avons dit (page 173), se composent de barres plates.

Ces barres devant pouvoir composer, par leur réunion, des paquets de toutes dimensions, il convient que les cannelures des laminoirs soient disposées en conséquence.

Un moyen de pouvoir composer toutes les sections voulues de paquets, pour l'ébauchage et le corroyage, consisterait à étirer les fers bruts à la plus petite largeur; mais, outre que les paquets provenant de l'assemblage de ces barres seraient sans consistance dans les fours, et se déformeraient sous l'influence de la température et de la manœuvre qu'exige leur chauffage égal, ils seraient la cause d'un déchet inutile, tant à l'étirage du fer brut qu'à leur propre chauffage, les barres étroites donnant plus de déchet au laminage et présentant plus de surface au réchauffage que les barres larges.

Pour composer un paquet qui ne se déforme pas dans le four, il convient que les barres soient assemblées entre elles comme les pierres dans les constructions, c'est-à-dire à *joints croisés;* pour y arriver et nécessiter le moins de cannelures possible aux laminoirs, on adopte, pour largeur des barres de fer brut, des nombres qui sont entre eux comme 2 : 3 : 4 : 6, et permettent de faire :

$$2 + 3 = 5$$
$$2 + 4 = 6$$
$$2 + 6 = 8$$
$$3 + 4 = 7$$
$$3 + 6 = 9$$
$$4 + 6 = 10$$
$$2 + 3 + 6 = 11$$
$$6 + 6 = 12$$
$$2 + 4 + 6 = 12$$
$$2 + 3 + 3 + 4 = 12$$

c'est-à-dire tous les accroissements de 1, en largeur, à partir de 2, et tous les croisements de joints nécessaires à la stabilité des paquets.

Nous avons le regret de dire qu'à partir du moment actuel il faut que nous fassions usage des anciennes mesures de largeur, par la raison que les forges et leurs clients, surtout, n'ont pas encore pu les proscrire.

Digitized by Google

Les cannelures finisseuses des trains de laminoirs de fer brut sont : de 2e (54 millimètres), 3e (81 millimètres), 4e (108 millimètres et 6e (162 millimètres) de large et de 16 à 18 millimètres d'épaisseur. Nous pourrions bien indiquer d'autres largeurs, telles que 5, 7.5, 10 et 15 centimètres, mais alors nous mettrions nos lecteurs dans la nécessité de traduire en pouces toutes les dimensions que nous donnerions, par la raison que les laminoirs dont ils disposent ont tous, du moins en ce qui concerne le fer brut, les anciennes mesures.

Le mètre courant des barres pèse :

| | |
|---|---|
| En 2e . . . . . | 7k.16 |
| 3e . . . . . | 10k.74 |
| 4e . . . . . | 14k.32 |
| 6e . . . . . | 21k.48 |

Les poids des *boules cinglées ou masseaux* étant (page 210) de :

| | | | |
|---|---|---|---|
| A 8 boules pour 2e. . . . . | 32k.00 | | |
| 7 — 3e. . . . . | 36k.00 | Épaisseur, 8 lignes (18 millimètres). | |
| 6 — 4e. . . . . | 42k.00 | | |
| 5 — 6e. . . . . | 50k.00 | | |

Les longueurs des barres étirées sont :

| | | | |
|---|---|---|---|
| En 2e. . . . . | $\frac{32}{7.16}$ | = 4m.50 | environ. |
| En 3e. . . . . | $\frac{36}{10.74}$ | = 3m.40 | — |
| En 4e. . . . . | $\frac{42}{14.32}$ | = 3m.00 | — |
| En 6e. . . . . | $\frac{50}{21.48}$ | = 2m.35 | — |

Si les masseaux étaient tous cinglés au même diamètre, il y aurait à conclure de ce résultat que l'étirage des barres est en raison inverse de leur largeur. Il n'en est pas tout à fait ainsi, et, bien que les boules soient d'autant moins étirées que l'échantillon des barres est plus large, on peut dire, néanmoins, que la différence des étirages n'est pas aussi considérable que celle des longueurs.

En effet, les masseaux, bien que de poids différents, sont à peu près tous de la même longueur qui est 0m.35, maximum d'ouverture des presses au point où on refoule les bouts des masseaux. Divisant par 0m.35 les longueurs des barres étirées données ci-dessus, nous avons pour étirage réel du fer brut, suivant les échantillons, les nombres suivants, savoir :

| | Etirage. | Nombres proportionnels. |
|---|---|---|
| Barres de 2e . . . . . | 12.85. . . . . | 100 |
| — 3e . . . . . | 9.71. . . . . | 76 |
| — 4e . . . . . | 8.57. . . . . | 67 |
| — 6e . . . . . | 6.70. . . . . | 52 |

Les longueurs de masseaux étant les mêmes et leurs poids étant différents, leurs diamètres déduits des volumes correspondants aux poids sont les suivants :

Digitized by Google

| | Diamètres. |
|---|---|
| Masseaux pour barres de 2e . . . . . | 0m.12 |
| — — 3e . . . . . | 0m.13 |
| — — 4e . . . . . | 0m.14 |
| — — 6e . . . . . | 0m.15 |

Les laminoirs à fer brut ont tous la même longueur de table qui est, en général, de 1m.50. Ils se composent de partie cannelures ogives, partie cannelures plates. Les cannelures ogives servent à deux fins, savoir : 1° à étirer la boule en carré, dont le côté est un peu moindre que la largeur de la barre étirée plate; 2° à faire de la blette (en anglais *billet*, qui signifie lingot).

Le nombre des cannelures ogives, pour entrer dans les cannelures plates, dépend de l'étirage qu'il convient de faire subir au fer entre chaque cannelure sans le faire gercer trop fortement, se casser, ainsi que de la différence qui existe entre le diamètre du masseau cinglé et le côté que doit avoir la blette au moment d'entrer dans la première cannelure plate.

L'étirage qu'il convient de faire subir au fer entre chaque cannelure a été déterminé par expérience; il varie entre 1.40 et 1.50 par cannelure, soit, en moyenne, 1.50 pour les cannelures plates et 1.40 pour les cannelures ogives.

Observant que le côté de la cannelure ogive, qui va entrer dans les plats, doit être moindre que le côté définitif du plat, afin que les entrées dans les cannelures plates soient faciles, nous admettons, encore d'après l'expérience, que les côtés des blettes prêtes à entrer dans les plats sont, en moyenne, les 0.85 de la largeur de la barre plate finie, et alors nous avons pour blettes originaires des barres plates les dimensions suivantes en nombres ronds, savoir :

| | Côté du carré. |
|---|---|
| Blettes de 2e. . . . . | 0m.050 |
| — de 3e. . . . . | 0m.070 |
| — de 4e. . . . . | 0m.090 |
| — de 6e. . . . . | 0m.135 |

Connaissant les sections des blettes originaires des plats, les sections des barres plates finies et l'étirage moyen de chaque cannelure, les nombres de cannelures ne sont plus autre chose que les nombres de termes moins 1 des progressions géométriques, dont les sections des barres plates sont le premier terme, les sections des barres carrées le dernier et l'étirage la raison. On obtient alors le nombre des cannelures pour chaque échantillon en posant la formule

$$l = a\,q^{n-1}, \text{ d'où } {}_{n-1} = \frac{\log.\frac{l}{a}}{\log.q},$$

dans laquelle on a :

| Largeurs des barres finies. | Valeurs des différents termes de la formule. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $l$ | $a$ | $q$ | $n-1$ | |
| | | | | théorique. | pratique. |
| 2e. . . . . | 0.0025 | 0.00092 | 1.5 | 2.47 | 3 |
| 3e. . . . . | 0.0049 | 0.00138 | 1.5 | 3.12 | 3 |
| 4e. . . . . | 0.0081 | 0.00184 | 1.5 | 3.65 | 4 |
| 6e. . . . . | 0.0182 | 0.00275 | 1.5 | 4.65 | 5 |

Opérant de la même manière pour les cannelures ogives et remplaçant $q = 1.5$ par $q = 1.4$, nous obtenons :

Digitized by Google

| Largeurs des barres finies. | $l$ | $a$ | $q$ | $n-1$ théorique. | $n-1$ pratique. |
|---|---|---|---|---|---|
| 2e. . . . . | 0.0113 | 0.0025 | 1.4 | 4.49 | 5 |
| 3e. . . . . | 0.0133 | 0.0049 | 1.4 | 2.98 | 3 |
| 4e. . . . . | 0.0154 | 0.0081 | 1.4 | 1.91 | 2 |
| 6e. . . . . | 0.0177 | 0.0182 | 1.4 | 1.00 | 1 |

Les cylindres ayant tous la même longueur de 1m.50, afin qu'on puisse les substituer les uns aux autres, on est dans l'usage de les remplir par des cannelures supplémentaires quand les cannelures rigoureusement nécessaires ne suffisent pas.

Ainsi, en ce qui concerne le 2e, il est souvent utile de pouvoir faire des plats, pour *petit mill*, de moins de 0m.017 d'épaisseur; il est aussi avantageux de pouvoir faire des blettes, pour petit mill, jusqu'à 18 lignes (0m.040) de côté. En ce qui concerne le 3e et le 4e aussi bien que le 2e, il est bon d'avoir, pour première cannelure ogive, une cannelure pouvant prendre le masseau cinglé au diamètre qui convient pour l'échantillon au-dessus, tant parce que les ouvriers n'ont pas toujours le coup d'œil juste en cinglant que parce que l'affluence des masseaux, arrivant à la fois à un même cylindre, ferait attendre trop longtemps pour passer.

Il résulte de ces deux circonstances que les cannelures des cylindres du puddlage se trouvent réparties ainsi qu'il suit quand elles remplissent la table, savoir :

| | Nombre des cannelures ogives. | Nombre des cannelures plates. |
|---|---|---|
| Cylindres de 2e faisant des blettes de 18 lignes. . . . . | 7 | 4 |
| — de 3e. . . . . | 5 | 3 |
| — de 4e. . . . . | 3 | 4 |
| — de 6e. . . . . | 1 | 5 |

La vitesse de rotation qui convient pour les cylindres du puddlage est de 35 à 40 tours par minute, le diamètre moyen étant de 0m.50. Nous disons le diamètre moyen, parce qu'il est nécessaire qu'il y ait une différence de diamètre entre le cylindre supérieur et le cylindre inférieur.

Cette différence de diamètre a pour but de compenser l'effet de relevage de la barre sortante que produit le cylindre inférieur par suite de son rôle de moteur du cylindre supérieur, qui se trouve toujours en retard, quoique faisant le même nombre de tours, et glisse plus facilement sur la barre, sans l'étirer, que le cylindre inférieur, qui en porte tout le poids; elle est de 0m.005 environ.

On prévient le glissement des cannelures sur le fer, tant pour le cylindre inférieur que pour le cylindre supérieur, en les rayant et les piquant assez fortement; mais cela ne peut avoir lieu que dans les cannelures ébaucheuses, et il importe, quand on le fait, de laisser au moins intactes les dernières cannelures ogives et les dernières cannelures plates, surtout dans les cylindres de 2e, afin que les fers étirés seulement en blettes soient plus lisses et fassent moins de déchet au feu quand on les réchauffe.

*Constatation des déchets.* — La constatation des déchets comprend :

1° Le pesage des matières premières à l'entrée au four;

2° Le pesage du produit à la sortie du laminoir ou du cinglage, quand on n'étire pas les barres.

Le déchet, sur la fonte, est constaté à chaque charge; la consommation du charbon est balancée toutes les douze heures à chaque changement de brigade, et répartie uniformément sur le produit de la journée.

Quand on veut connaître la consommation de charbon correspondante à un mode de puddlage

Digitized by Google

déterminé ou juger de la puissance calorifique d'un charbon donné, on mesure le temps correspondant à la durée du puddlage d'un poids donné de la fonte spéciale ou à la combustion d'un poids donné du charbon spécial.

Le déchet de la fonte est très-variable; non-seulement il dépend de la qualité de la matière, de la proportion de crasse ajoutée, de l'état du four, du tirage, de la puissance calorifique du charbon, mais encore du cinglage et du laminage.

Les limites des consommations normales en fonte pour 1,000 kilog. de fer étiré en barres sont les suivantes, savoir :

| | | moyenne. |
|---|---|---|
| En fonte supérieure. . . . . | de 1,070 à 1,120 | 1,095 |
| En fonte de Champagne. . . . . | de 1,085 à 1,135 | 1,110 |
| En fonte au coke. . . . . | de 1,100 à 1,150 | 1,125 |

Les limites des consommations normales en charbon pour 1,000 kilog. de fer étiré en barres sont les suivantes, savoir :

| | | moyenne. |
|---|---|---|
| En fonte supérieure. . . . . | de 700 à 800 | 750 |
| En fonte de Champagne. . . . . | de 650 à 750 | 700 |
| En fonte au coke. . . . . | de 600 à 700 | 650 |

Au-dessous de ces consommations, il y a fraude de la part des ouvriers; au-dessus, il y a un vice soit dans l'appareil, soit dans le combustible, soit dans le travail.

Quand le charbon a la flamme courte, le fer grille dans le four et fait plus de déchet non-seulement alors il y a plus d'oxygène libre qui traverse la grille et le porte sur le fer, mais la température du four est moins élevée et la décarburation complémentaire de l'acier est plus lente.

Il est des pays où il faut cependant employer les charbons maigres, parce qu'il n'y en a pas d'autres ou parce qu'ils y sont infiniment plus économiques que les charbons gras. Dans ce cas, il convient d'augmenter la surface et la profondeur de la grille; la surface pour que la température soit plus élevée, la profondeur pour que l'air traverse une plus grande épaisseur de combustible avant de pénétrer dans le four. Dans ces conditions, on arrive à un déchet moyen, pour la fonte, ne dépassant pas celui que nous avons indiqué; la consommation du charbon est évidemment plus grande.

Quand on a le choix entre les combustibles gras et maigres, il ne faut pas hésiter, pour le puddlage, à choisir les charbons gras, à prix de revient égal des quantités de combustible brûlées par 1,000 kilog. de fer étiré en barres.

Le cinglage influe sur les déchets de plusieurs manières. D'abord, quand les puddleurs cinglent leurs boules, ils en retirent le moins possible de laitier, afin que les barres pèsent plus lourd; malheureusement pour eux, quand une boule est peu cinglée, il arrive le plus souvent que, au lieu de donner une barre, elle donne plusieurs bouts au laminoir. La fraude du cinglage insuffisant est alors facile à empêcher; il suffit, pour cela, de ne pas payer la façon des bouts. Dans ce cas, on considère comme bout toute barre qui a moins de :

| | |
|---|---|
| En 2e. . . . . | 0m.90 de long. |
| En 3e. . . . . | 0m.80 — |
| En 4e. . . . . | 0m.70 — |
| En 6e. . . . . | 0m.60 — |

Dans le cas où les bouts sont la conséquence de la qualité même de la fonte, ce moyen ne peut être employé; mais alors on change le travail du four, les bouts ne devant jamais être tolérés,

Digitized by Google

mais seulement subis. On comprend, en effet, que les barres, étant destinées à être cisaillées en longueurs diverses pour faire des paquets, ont des bouts écrus qui sont coupés et classés dans la ferraille à lopiner, suivant leur qualité, mais pour une valeur inférieure à celle des barres. Or plus les barres sont courtes, plus, à échantillon égal et poids égal, elles font de déchets en bouts écrus à la cisaille, plus, par conséquent, la perte ou le prix de revient du fer en paquet est considérable.

Quand les boules ne sont pas étirées, par suite d'un arrêt de la machine ou autre cause, non-seulement elles ne supportent pas le déchet du laminoir, mais encore elles nécessitent un réchauffage où elles perdront de 6 à 8 pour 100.

Dans le cas de l'existence des boules froides, un rabais de 2 à 3 pour 100 sur le poids représente assez exactement le déchet au laminoir.

Le déchet au laminoir varie suivant les échantillons; il est plus considérable pour les petites largeurs que pour les grandes, et pour les barres plates que pour les blettes. Aussi convient-il de faire, autant que possible, peu de plats de 2e, et, pour cela, de ne jamais les employer par barres accouplées pour remplacer les plats de 4e manquants.

On voit, par là qu'il est important de toujours pouvoir étirer du fer aux quatre largeurs principales, ce qui comporte quatre cylindres au moins en service. Nous disons au moins, parce que le nombre des cylindres, comme celui des cingleurs, est assujetti au nombre des fours.

On peut dire que, sur quatre fours, il y en a presque toujours trois qui passent ensemble au cinglage et au laminoir; cela tient à ce que, commençant à peu près tous ensemble, il y a lutte entre eux pour faire le plus grand nombre de charges dans les douze heures, et ils arrivent tous au même moment pour passer.

Un four fait, en moyenne, six boules et les passe en quinze minutes. Trois fours passant ensemble font dix-huit boules en quinze minutes, soit un peu plus d'une boule par minute. Or il faut une minute pour cingler une boule; par conséquent, le minimum de déchet comporte un cingleur au moins pour trois fours.

Il en est de même du laminoir: le passage d'une barre est d'environ deux minutes, mais on peut en passer deux à la fois au même laminoir; c'est donc comme si elles ne demandaient chacune qu'une minute; il faut donc, comme pour le cinglage, un laminoir au moins pour trois fours. Nous avons dit tout à l'heure qu'il fallait toujours quatre laminoirs marchant pour obtenir les quatre échantillons de fer puddlé; il en résulte que les quatre laminoirs suffisent pour douze fours quand il est indifférent d'étirer à l'un ou à l'autre.

Dans le cas où un échantillon doit être plus fabriqué que les autres, il ne peut plus en être ainsi, et alors il faut ou augmenter le nombre des laminoirs qui desservent les fours, ou diminuer le nombre des fours qui desservent les laminoirs.

A notre avis, il est de la dernière imprudence de n'avoir que la quantité strictement nécessaire de cingleurs et de laminoirs, appareils qui cassent fréquemment, font des cordons, ou enfin ont des accidents qui les mettent momentanément hors de service. Nous pensons que non-seulement il convient, mais encore il est économique d'avoir trois cingleurs pour deux indispensables et six paires de cylindres pour quatre indispensables. Mais c'est prêcher dans le désert que d'aborder une pareille question, l'industrie vivant, dans les cinq sixièmes des cas, au jour le jour et préférant subir de grandes pertes éventuelles que d'immobiliser un capital sans nécessité.

Il est, du reste, incontestable que les changements de méthodes, de fabrication et d'appareils sont tellement, nous ne dirons pas seulement hebdomadaires, mais même journaliers, qu'il y aurait vraiment témérité à avoir pour principe, en industrie, qu'il faut être appareillé comme une armée qui entre en campagne; l'industrie du sucre de betteraves est là pour démontrer aux

Digitized by Google

plus rigoureux combien cette méthode est dangereuse. L'industrie du fer, qui paraît n'avoir pas subi de grands changements depuis une vingtaine d'années, parce que c'est toujours à peu près la même méthode de fabrication et les mêmes appareils que l'on emploie, en a subi néanmoins de très-grands dans les agencements, dispositions, forces, etc., de ces appareils et dans les échantillons fabriqués.

# TITRE V.

## CLASSEMENT DES FERS BRUTS.

Les fers bruts, ou matières premières de la fabrication du fer fini, constituent un nombre de classes d'autant plus considérable que les matières premières sont plus variées. Or, de même qu'en chimie il est nécessaire de donner des noms aux catégories de divers corps, suivant leur nature, non-seulement pour les distinguer entre eux, mais encore pour en *formuler* les réactions, de même, en *métallurgie du fer*, quand la fabrication emploie un grand nombre de matières premières à divers degrés d'avancement, il est nécessaire de faire des feuilles de commande aux différents services, et de leur formuler, aussi brièvement que possible, les compositions qu'ils doivent employer.

A cet effet, remarquons que les variétés se distinguent entre elles, soit par la provenance de la fonte, soit par la texture des barres cassées.

Les barres d'une même fonte se divisent généralement en trois variétés qui sont :

La texture à nerf;
La texture intermédiaire;
La texture à grain.

Dans les fontes supérieures, les textures extrêmes ont la même valeur, en ce sens qu'elles conviennent chacune pour des fers d'égale qualité, mais de nature différente; ainsi les barres à nerf conviennent parfaitement pour la fabrication des fers dont tout le mérite réside dans la ténacité, comme les ronds à câbles, les tirants, etc.; tandis que les barres à grains conviennent spécialement pour les fers dans lesquels on recherche, avant tout, la dureté de l'acier, comme les bandages à rebords pour chemins de fer, les ronds pour rivets, cylindres et broches de filatures, etc.

Dans les fers de fontes Champagne, le nerf a plus de valeur intrinsèque que le grain, attendu que le grain est à facettes et le résultat de la présence du phosphore. Mais, comme ces fers s'emploient exclusivement pour tous les échantillons dans lesquels la qualité à chaud est de rigueur, comme le fer à maréchal, par exemple, ainsi que pour les gros et petits fers extra dont le principal mérite est de ne pas criquer dans les angles, comme les feuillards, les vitrages, les fers à couteaux, etc., il arrive presque toujours que l'on mélange les trois variétés pour écouler plus avantageusement la troisième, ce qui est excessivement rationnel; la qualité moyenne qui en résulte étant généralement assez bonne à froid et toujours excellente à chaud.

Dans les fontes au coke et dans les vieilles fontes d'origines inconnues, les trois variétés ont des valeurs très-différentes; c'est qu'en effet, d'une part, le nerf accuse l'absence du phosphore

Digitized by Google

et un fer presque aussi bon que n'importe lequel on fonte supérieure et en fonte Champagne pour les usages à froid, tandis que les facettes, indice de la présence du phosphore, accusent un fer médiocre à chaud et mauvais à froid, si les fontes sont toutes au coke, ce qu'il faut admettre pour toutes les vieilles fontes dont le triage avant puddlage n'est pas possible, au point de vue de la provenance, et dont l'essai à chaud, après puddlage, est impraticable sur une grande échelle.

*Du nerf.*

Le nerf est l'indice d'un fer très-affiné, c'est-à-dire décarburé presque complétement.

On distingue dans le nerf la *couleur* et la *longueur* du filament.

Plus le nerf est blanc et mat d'une part, et long d'autre part, plus le fer est pur.

Le nerf brillant et foncé en couleur, tirant sur le bleu, est généralement court; il est l'indice d'un fer carburé pur, mais pas assez carburé pour prendre du grain.

Le nerf blanc et brillant est l'indice d'un fer phosphoreux.

Le nerf terne et foncé en couleur, tirant sur le noir, est toujours court; il est l'indice d'un fer rouverin.

*Du grain.*

Le grain est l'indice d'un fer incomplétement affiné et contenant encore soit du carbone pur, soit du carbone et du phosphore.

Quand le grain est fin, brillant et crochu, le fer est de première qualité, comme fer fort.

Quand le grain est à larges facettes cristallines après étirage, le fer est phosphoreux.

Le grain fin, demi-mat et cassant sec, est l'indice d'un fer brûlé (dissolution d'oxygène), ou d'un fer allié d'étain.

Pour bien juger le grain d'un fer qui n'est ni brûlé ni allié d'étain, deux états exceptionnels dont l'un est peu important, puisqu'il suffit d'un recuit en vase clos pour le faire cesser, et dont l'autre constitue un fer tout au plus bon à faire de la couperose, il faut connaître l'étirage qu'il a subi. Nous ne parlons plus ici du fer sortant du laminoir du puddlage; mais de ce fer, mis en paquets, réchauffé et étiré en barres plates, carrées ou rondes, aux laminoirs à fer marchand ou au marteau.

Un fer à grain, première qualité, provenant de barres puddlées bien décapées avant la mise en paquets, soit par trempage au rouge cerise dans l'eau, soit mécaniquement, accuse un grain brillant, homogène et crochu, dont la finesse est proportionnelle à l'étirage. Si l'étirage est de 5 seulement sur le lopin corroyé, le grain, quelque beau qu'il soit, est encore assez gros et susceptible de faire juger défavorablement la qualité du métal.

Ce même grain, étiré à 14, devient beaucoup plus fin; enfin, étiré à 40, il est d'une finesse remarquable.

Beaucoup de métallurgistes sont convaincus que le marteau jouit de la propriété de donner au fer un grain beaucoup plus fin que le laminoir. C'est, à notre avis, une erreur que nous avons constatée par un très-grand nombre d'expériences comparatives.

Tout fer trop étiré donne évidemment du nerf, quand la proportion de carbone n'est pas suffisante pour le constituer à l'état d'acier. Dire quelles sont les proportions de carbone correspondant aux diverses finesses de grain suivant les divers étirages, nous ne le pouvons, n'ayant pas analysé ces fers. Mais nous pouvons dire que tout fer contenant la proportion de carbone qui correspond à l'état de fer fort, étiré de la même quantité au laminoir et au marteau, accuse le même grain.



Digitized by Google

Le sujet que nous traitons ici est de la plus haute importance au point de vue métallurgique. On fabrique aujourd'hui des échantillons de fer dont les sections correspondent, pour un étirage convenable, à des paquets de 35 à 50 centimètres de côté.

Dans les forges où le plus gros ébaucheur à fer marchand ne prend pas plus de 22 centimètres de côté, il faut marteler ces paquets en une ou plusieurs chaudes avant de les laminer. Ce martelage est toujours infiniment plus coûteux que le laminage; la question est donc aujourd'hui de décider, dans les nouvelles forges qui se montent, si on continuera à composer le train du gros mill de deux paires de cylindres seulement, l'une de finisseurs et l'autre d'ébaucheurs, ou si on portera le nombre des paires d'ébaucheurs à deux ou trois, afin de pouvoir se passer du marteau pour les gros échantillons.

Pour nous, il n'y a pas à hésiter; la réforme, qui a déjà eu lieu en Angleterre, aura lieu en France avant quelques années. D'abord, pour les fers à nerf, elle est incontestable, et, pour le grain, les résultats comparatifs que nous avons obtenus, tant pour les fers plats, carrés et ronds que pour les bandages à rebords, sont tellement significatifs, que quiconque les renouvellera, obtenant les mêmes résultats que nous, partagera notre opinion.

Le laminoir, comme nous l'avons déjà dit, a, sur le marteau, l'avantage de souder instantanément et partout à la fois. Il exige une plus grande force au moment du passage du paquet, mais cette force est emmagasinée dans le volant, et, somme toute, ne coûte pas autant de vapeur que le marteau.

Ces points établis, nous allons exposer ici la méthode de classement des fers que nous avons employée à *Montataire*, c'est-à-dire dans l'une des usines du monde où la fabrication est le plus variée.

Il va sans dire que nous classons dans la catégorie des fers bruts non-seulement les ferrailles venues du dehors et qui doivent être employées comme telles, mais encore les riblons de fer et tôle provenant de la fabrication.

Avant d'exposer notre nomenclature, nous allons citer un exemple, afin de bien faire comprendre au lecteur en quoi elle consiste :

Soit A une nature de fer; ce fer peut se trouver, soit en barres *brutes*, sortant de l'affinage, soit en barres *ébauchées*, soit en barres *corroyées*. Dans ce cas, nous désignons par

A, le fer brut;
$A^2$, le fer ébauché;
$A^3$, le fer corroyé.

Comme la majeure partie des fers employés à la fabrication du fer fini est en paquets de barres plates ou en lopins de ferrailles ou riblons, les lettres A, $A^2$, $A^3$, employées seules, expriment toujours des paquets de barres plates ou des lopins de ferraille ou riblons.

Si le fer a été étiré en *blettes*, on désigne par

*b*A, les blettes de fer brut;
*b*$A^2$, les blettes de fer ébauché;
*b*$A^3$, les blettes de fer corroyé.

Si le fer brut est en boules cinglées et refroidies telles, il ne devient matière première, pour la fabrication du fer fini, qu'après avoir été préalablement réchauffé et étiré en barres. Si, après étirage, il affectait les mêmes caractères que les barres provenant des boules cinglées et étirées de la même chaude, il ne serait pas nécessaire de lui donner une désignation particulière; mais les barres provenant de boules réchauffées étant généralement plus *à grain* et infiniment mieux

Digitized by Google

soudées que les autres, il convient de leur donner une désignation spéciale; à cet effet, on désigne par :

*o*A, les barres plates de fer brut provenant de boules réchauffées;
*bo*A, les blettes de fer brut provenant également de boules réchauffées.

Les bouts écrus se désignent ainsi, savoir :

$A^x$, bouts écrus de barres plates de fer brut;
$A^{2x}$, bouts écrus de barres plates de fer ébauché;
$A^{3x}$, bouts écrus de barres plates de fer corroyé.

Les bouts écrus de blettes se désignent par $bA^x$, $bA^{2x}$, $bA^{3x}$.

Les rognures de tôles, qui sont toutes de fer corroyé, se désignent par $A^r$, au lieu de $A^{3r}$, l'r, en exposant, étant considéré comme suffisant pour indiquer que le métal est corroyé. De plus, comme elles sont de diverses épaisseurs, on en considère trois espèces, savoir :

Les grosses rognures ou. . . . . $gA^r$;
Les rognures moyennes ou . . . . . $mA^r$;
Les rognures fines ou. . . . . $fA^r$.

Cela posé, divisons les natures de fer en un nombre illimité de classes, représentées, chacune, par une lettre de l'alphabet, et chaque classe en dix numéros, indiquant chacun, soit sa provenance, soit la qualité, soit l'espèce, nous avons :

1re classe, A, et les numéros 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10;
2e classe, B, et les numéros 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20,

et ainsi de suite.

A Montataire, il y a douze classes, mais il peut y en avoir moins ou plus.

La première classe comprend les fers de qualité tout à fait supérieure; à ce compte elle devrait être affectée aux fers fabriqués par la méthode catalane. Mais ces fers ne s'emploient pas pour la fabrication du fer fini, à moins de circonstances particulières, et sont exclusivement réservés pour la fabrication de l'acier. Nous les laisserons donc de côté, chacun étant libre, d'ailleurs, de composer son tableau en leur affectant la première classe, ou en leur affectant la dernière, ce qui est sans importance pour la fabrication.

Nous aurons :

1re classe A, fers de fontes fines affinées au feu soufflé et au charbon de bois, pures ou mélangées de ferrailles;

2e classe B, ferrailles fines affinées au feu soufflé et au charbon de bois;

3e classe C, fers de fontes fines puddlées, pures ou mélangées soit de ferrailles, soit de fonte, qualité Champagne, au bois, n'en détériorant pas la qualité;

4e classe D, fers de fontes, qualité Champagne, au bois, puddlées pures ou mélangées de ferrailles;

5e classe E, fers de fontes, qualité Champagne, au bois, puddlées en mélange avec des fontes au coke et des vieilles fontes;

6e classe F, fers de fontes au coke, puddlées pures ou mélangées de ferrailles et vieilles fontes;

7e classe G, ferraille soudée en vrac au four à réverbère;

8e classe H, fers de ferrailles lopinées;

9e classe I, essais;

10e classe K, transformations sur commandes.

Digitized by Google

On le voit par cet exposé, la classe ne signifie rien quant à la qualité ; elle a principalement pour but d'indiquer la nature de la matière première.

Ces désignations servent à formuler les commandes aux différents services et à marquer soit les cases où sont renfermées les matières, soit les paquets et lopins préparés en vue de la fabrication.

Quand les paquets ou lopins doivent avoir une couverture, il convient, pour éviter la confusion, d'indiquer d'abord la composition de la couverture et ensuite celle de l'intérieur.

Ainsi l'expression

$$D^2\ D^X\ F^X\ 32/54$$

signifie paquet composé, comme couverture, de fer qualité Champagne, correspondant au n° 32, *ébauché*, et, à l'intérieur, d'un mélange de bouts écrus de fer brut, qualité Champagne, n° 32, et fer de fonte au coke, ces derniers pris dans le n° 54.

Comme exemple de l'usage des numéros dans chaque classe, nous donnons le tableau suivant :

*Nomenclature et classification des fers bruts.*

| NUMEROS. | ORIGINE. | COMPOSANTS ET PROPORTIONS. | TEXTURE DES BARRES. | DÉSIGNATIONS DES | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | BARRES PLATES | | | | BLETTES | | | BOUTS DE BARRES. | ROGNURES DE TOLES. |
| | | | | brutes. | ébauchées. | corroyées. | de boules réchauffées. | brutes. | ébauchées. | de boules réchauffées. | | |
| 1 | Fontes lines affinées au charbon de bois avec ou sans ferraille. | Corse pure. | Nerf. | A | $A^2$ | $A^3$ | $oA$ | $bA$ | $bA^2$ | $boA$ | $A^X\ A^{2X}\ A^{3X}$ | $gA^r$, $mA^r$, $fA^r$ |
| 2 | | 75 Corse 25 $fA^r$. | | | | | | | | | | |
| 3 | | Périgord Gonfray. | | | | | | | | | | |
| 4 | | Périgord Courregelonge. | | | | | | | | | | |
| 5 | | Périgord Combescot. | | | | | | | | | | |
| 6 | | Baigorry pure. | | | | | | | | | | |
| 7 | | 75 Baigorry 25 $gA^r$. | Grain. | | | | | | | | | |
| 8 | | Franche-Comté pure. | | | | | | | | | | |
| 9 | | Pyrénées Lasserre. | | | | | | | | | | |
| 10 | | 75 Berry 25 $mA^r$. | | | | | | | | | | |
| 11 | Ferrailles forgées affinées au charbon de bois. | $gA^r$ pur. | | B | $B^2$ | $B^3$ | $oB$ | $bB$ | $bB^2$ | $boB$ | $B^X\ B^{2X}\ B^{3X}$ | $gB^r$, $mB^r$, $fB^r$ |
| 12 | | $mA^r$ pur. | | | | | | | | | | |
| 13 | | $fA^r$ pur. | | | | | | | | | | |
| 14 | | H 75 pur. | | | | | | | | | | |
| 15 | | Copeaux fer fin. | | | | | | | | | | |
| 16 | | 1/2 $gA^r$ 1/2 $fA^r$. | | | | | | | | | | |
| 17 | | 1/2 $mA^r$ 1/2 H 75. | | | | | | | | | | |
| 18 | | 1/2 Copeaux fins 1/2 $fA^r$. | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | |
| 21 | Fontes lines puddlées pures ou mélangées. | Baigorry pure. | Grain. | C | $C^2$ | $C^3$ | $oC$ | $bC$ | $bC^2$ | $boC$ | $C^X\ C^{2X}\ C^{3X}$ | $gC^r$, $mC^r$, $fC^r$ |
| 22 | | Périgord pure. | | | | | | | | | | |
| 23 | | Corse pure. | Nerf. | | | | | | | | | |
| 24 | | 3/4 Baigorry 1/4 Naix. | | | | | | | | | | |
| 25 | | 3/4 Périgord 1/4 Eurville. | | | | | | | | | | |
| 26 | | Franche-Comté. | | | | | | | | | | |
| 27 | | Berry. | | | | | | | | | | |
| 28 | | Allevard. | Grain. | | | | | | | | | |
| 29 | | Pyrénées Lasserre. | | | | | | | | | | |
| 30 | | 3/4 Pyrénées 1/4 Naix. | | | | | | | | | | |

Digitized by Google

| NUMÉROS. | ORIGINE. | COMPOSANTS ET PROPORTIONS. | TEXTURE DES BARRES. | DÉSIGNATIONS DES BARRES PLATES brutes. | BARRES PLATES ébauchées. | BARRES PLATES corroyées. | BARRES PLATES de boules réchauffées. | BLETTES brutes. | BLETTES ébauchées. | BLETTES de boules réchauffées. | BOUTS DE BARRES. | ROGNURES DE TÔLES. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | Fontes mi-fines puddlées. | Naix. | Nerf. | D | $D^2$ | $D^3$ | oD | bD | $bD^2$ | boD | $D^x$ $D^{2x}$ $D^{3x}$ | $gD^r$, $mD^r$, $fD^r$ |
| 32 | | Eurville. | *Id.* | | | | | | | | | |
| 33 | | Tempillon. | *Id.* | | | | | | | | | |
| 34 | | Doulevent. | *Id.* | | | | | | | | | |
| 35 | | Vaux et ferraille choisie. | | | | | | | | | | |
| 36 | | Evaux et ferraille choisie. | | | | | | | | | | |
| 37 | | Clos Mortier. | | | | | | | | | | |
| 38 | | Louvemont. | Grain. | | | | | | | | | |
| 39 | | Froncles. | | | | | | | | | | |
| 40 | | Eclaron. | | | | | | | | | | |
| 41 | Fontes puddlées, mélanges divers. | 2/3 Coke 1/3 Champagne. | | E | $E^2$ | $E^3$ | oE | bE | $bE^2$ | boE | $E^x$ $E^{2x}$ $E^{3x}$ | $gE^r$, $mE^r$, $fE^r$ |
| 42 | | 3/4 Coke 1/4 Champagne. | | | | | | | | | | |
| 43 | | 1/2 Coke 1/2 marmite. | Nerf. | | | | | | | | | |
| 44 | | *Id.* | Inter. | | | | | | | | | |
| 45 | | *Id.* | Grain. | | | | | | | | | |
| 46 | | Grosse mécanique pure. | Nerf. | | | | | | | | | |
| 47 | | *Id.* | Inter. | | | | | | | | | |
| 48 | | *Id.* | Grain. | | | | | | | | | |
| 49 | | Fontes brûlées et tournures de fonte. | Nerf. | | | | | | | | | |
| 50 | | *Id.* | Grain. | | | | | | | | | |
| 51 | Fontes au coke puddlées. | Maubeuge. | Nerf. | F | $F^2$ | $F^3$ | oF | bF | $bF^2$ | boF | $F^x$ $F^{2x}$ $F^{3x}$ | $gF^r$, $mF^r$, $fF^r$ |
| 52 | | *Id.* | Inter. | | | | | | | | | |
| 53 | | *Id.* | Grain. | | | | | | | | | |
| 54 | | Terrenoire. | Nerf. | | | | | | | | | |
| 55 | | *Id.* | Inter. | | | | | | | | | |
| 56 | | *Id.* | Grain. | | | | | | | | | |
| 57 | | Creusot. | Nerf. | | | | | | | | | |
| 58 | | *Id.* | Inter. | | | | | | | | | |
| 59 | | *Id.* | Grain. | | | | | | | | | |
| 60 | | Marquises. | Grain. | | | | | | | | | |
| 61 | Ferrailles soudées en vrac. | Grosse tournure. | | G | $G^2$ | $G^3$ | oG | bG | $bG^2$ | boG | $G^x$ $G^{2x}$ $G^{3x}$ | $gG^r$, $mG^r$, $fG^r$ |
| 62 | | Cercles. | | | | | | | | | | |
| 63 | | Petit grain. | | | | | | | | | | |
| 64 | | Vieilles tôles rouillées. | | | | | | | | | | |
| 65 | | Petite tournure. | | | | | | | | | | |
| 66 | | Tortillards. | | | | | | | | | | |
| 67 | | Rognures fines $fA^r$. | | | | | | | | | | |
| 68 | | Rognures ordinaires $fF^r$. | | | | | | | | | | |
| 69 | | Criblures. | | | | | | | | | | |
| 70 | | Déchets de perles. | | | | | | | | | | |
| 71 | Ferrailles lopinées. | Gros bouts. | | Lopins H | $H^2$ | $H^3$ | oH | bH | $bH^2$ | boH | $H^x$ $H^{2x}$ $H^{3x}$ | $gH^r$, $mH^r$, $fH^r$ |
| 72 | | Gros bidon. | | | | | | | | | | |
| 73 | | Moyen bidon. | | | | | | | | | | |
| 74 | | Petit bidon et tortillards. | | | | | | | | | | |
| 75 | | Déchets de perles. | Lopins | | | | | | | | | |
| 76 | | Cercles ployés. | | | | | | | | | | |
| 77 | | Grosses rognures de tôles diverses. | | | | | | | | | | |
| 78 | | Fers brûlés non recuits. | | | | | | | | | | |
| 79 | | | | | | | | | | | | |
| 80 | | | | | | | | | | | | |

Digitized by Google

| NUMÉROS. | ORIGINE. | COMPOSANTS ET PROPORTIONS. | TEXTURE DES BARRES. | DÉSIGNATIONS DES BARRES PLATES brutes. | BARRES PLATES ébauchées. | BARRES PLATES corroyées. | BARRES PLATES de boules réchauffées. | BILETTES brutes. | BILETTES ébauchées. | BILETTES de boules réchauffées. | BOUTS DE BARRES. | ROGNURES DE TOLES. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 81 | Provenances diverses pour essais. | Ivoy-le-Pré forgé. | | 1 | $1^2$ | $1^2$ | o1 | b1 | $b1^2$ | bo1 | $1^{1X}$ $1^{2X}$ | $gl^r$, $ml^r$, $fl^r$ |
| 82 | | *Id.* puddlé. | | | | | | | | | | |
| 83 | | Tronçais forgé. | | | | | | | | | | |
| 84 | | *Id.* puddlé. | | | | | | | | | | |
| 85 | | Ferraille de X en vrac. | | | | | | | | | | |
| 86 | | *Id.* lopinée. | | | | | | | | | | |
| 87 | | Tournure Y forgée. | | | | | | | | | | |
| 88 | | *Id.* en vrac. | | | | | | | | | | |
| 89 | | | | | | | | | | | | |
| 90 | | | | | | | | | | | | |
| 91 | Provenances diverses pour transformations sur commandes. | Bandages Nord. | | K | $K^2$ | $K^2$ | oK | bK | $bK^2$ | boK | $K^{1X}$ $K^{2X}$ $K^{3X}$ | $gK^r$, $mK^r$, $fK^r$ |
| 92 | | *Id.* Lyon. | | | | | | | | | | |
| 93 | | *Id.* Midi. | | | | | | | | | | |
| 94 | | *Id.* Ouest. | | | | | | | | | | |
| 95 | | *Id.* Est. | | | | | | | | | | |
| 96 | | *Id.* Orléans. | | | | | | | | | | |
| 97 | | Ferrailles Nord. | | | | | | | | | | |
| 98 | | *Id.* Lyon. | | | | | | | | | | |
| 99 | | *Id.* Orléans. | | | | | | | | | | |
| 100 | | *Id.* Midi. | | | | | | | | | | |

# SECTION III.

## DE LA FABRICATION DU FER FINI.

Le fer se livre au commerce sous deux formes principales, savoir :

1° En *barres*, auquel cas il porte le nom de *fer marchand;*

2° En *tôles*, auquel cas il porte le nom de *tôle de fer.*

Ce qui distingue le fer en barres de la tôle de fer, c'est que le premier affecte toute espèce de section et n'a jamais que deux bouts écrus affranchis, tandis que la tôle, qui est toujours plate, est découpée sur tout son pourtour.

Le nombre des chaudes que comporte la fabrication du fer fini est très-variable; il varie non-seulement suivant les formes et dimensions qu'il doit affecter, mais encore suivant la nature des fers bruts employés à sa fabrication. Ainsi la tôle, quelles que soient ses dimensions, comporte toujours au moins une chaude de plus que le fer en barres de même qualité. Comme, en outre, elle subit au rognage deux fois au moins autant de déchet que ce dernier, il convient, quand sa largeur doit être petite, de la fabriquer par la méthode du fer marchand, auquel cas elle porte le nom de *feuillards, rubans, cercles* ou *bandes,* suivant sa largeur et sa destination. Dans ce cas, l'étirage du métal comporte un supplément d'appareil qui, quand l'étirage a lieu au martoau,

Digitized by Google

consiste en une pièce de rechange, et, quand l'étirage a lieu au laminoir, est un laminoir spécial qui porte le nom de *polisseur* ou *spatard*.

De toutes les questions auxquelles se rattache la fabrication du fer fini, la composition est, sans contredit, la plus importante; aussi la traiterons-nous longuement. A cet effet, nous diviserons cette troisième section en trois titres, savoir :

TITRE I^er^. — Des préparations;
TITRE II. — De la fabrication du fer en barres;
TITRE III. — De la fabrication de la tôle de fer.

# TITRE I^er^.

## DES PRÉPARATIONS.

Les préparations ont pour but la confection des *blettes*, *paquets* et *lopins* dont la section transversale et le poids sont déterminés :

La *section transversale*, par l'*étirage* que comporte le métal, suivant la *qualité*, la *composition* et la *propreté* de la matière brute, ainsi que suivant la difficulté que présente la réussite de l'échantillon à confectionner;

Le *poids*, par la *perte au feu* et le *déchet* en bouts écrus que doivent subir les barres finies.

La *perte au feu* est, de tous les inconvénients que présente la fabrication, celui qu'il importe le plus d'éviter; elle varie suivant la nature des matières employées, les dimensions des pièces à chauffer et le nombre de chaudes qu'elles doivent subir.

Quand le chauffage a pour but la fabrication du fer *ébauché*, soit en *barres plates*, soit en *blettes*, en une chaude, les poids des paquets varient entre 50 et 100 kilog., et les pertes au feu sont, en moyenne,

| | |
|---|---|
| Pour paquets de barres brutes. . . . . | 9 pour 100. |
| Pour lopins de bouts de barres brutes avec barres pour couverture. . . . . | 10 — |
| Pour lopins de ferrailles enveloppées de tôles fines. . . . . | 12 — |
| Pour boules réchauffées, soit de fonte, soit de ferraille. . . . . | 12 — |

Quand le chauffage a pour but la fabrication du fer marchand ordinaire en une chaude, les pertes au feu sont, en moyenne,

Pour paquets sans couvertures :

| | |
|---|---|
| De 0 à 10 kilog. . . . . | 13.0 pour 100. |
| De 10 à 20 — . . . . . | 12.5 — |
| De 20 à 100 — . . . . . | 12.0 — |
| De 100 à 200 — . . . . . | 11.5 — |
| De 200 à 300 — . . . . . | 11.0 — |
| De 300 et au-dessus. . . . . | 10.5 — |

Digitized by Google

Pour paquets avec couvertures :

| | |
|---|---|
| De 0 à 10 kilog. . . . . | 12.0 pour 100. |
| De 10 à 20 — . . . . . | 11.0 — |
| De 20 à 100 — . . . . . | 8.0 — |
| De 100 à 200 — . . . . . | 7.5 — |
| De 200 à 300 — . . . . . | 7.0 — |
| De 300 et au-dessus. . . . . | 6.5 — |

En deux chaudes, la perte au feu augmente de 2 à 3 pour 100.

Le déchet en bouts écrus dépend non-seulement de l'état des bouts de barres, mais aussi de la longueur qu'elles doivent avoir. Quand les barres ne sont pas commandées à longueurs fixes, on calcule le poids des paquets de manière à ce que, coupées, elles n'aient pas moins de 4 mètres et plus de 6 mètres, soit 5 mètres en moyenne ; puis on les coupe au *minimum* de déchet. Quand, au contraire, elles sont commandées à longueurs fixes, il faut calculer leur poids de manière à ce que, les bouts affranchis, les barres soient toujours saines, ce qui ne peut avoir lieu qu'autant qu'on suppose le déchet maximum. Aussi les fers à dimensions fixes se vendent-ils nécessairement plus cher que les fers à dimensions courantes.

Dans le premier cas, le déchet en bouts écrus est, en moyenne,

| | |
|---|---|
| Pour paquets de fer brut sans couverture. . . . . | 7.50 pour 100. |
| Pour paquets de fer brut avec couverture. . . . . | 7.00 — |
| Pour blettes. . . . . | 3.00 — |
| Pour barres corroyées de 20 kilog. et au-dessus. . . . . | 6.00 — |

Dans le second cas, il est de 12 pour 100 pour les petits fers et de 11 pour 100 pour les gros.

On voit, par ces données, qu'il importe de bien connaître, avant de faire les paquets, que :

1° Le chauffage, en vue de l'*ébauchage*, est poussé moins loin que quand il s'agit de *finir*, parce qu'on compte sur la chaude que doit subir encore la barre pour achever le soudage s'il était imparfait ;

2° Le fer fini en une chaude, à dimensions courantes, exige une mise au four qui varie entre 115 et 120 pour 100, barres affranchies, tandis que le fer fini, à dimensions fixes, exige une mise au four qui varie entre 120 et 125 pour 100, barres en magasin.

Quand le finissage exige deux chaudes, ces chiffres peuvent avoir besoin d'être dépassés.

---

## CHAPITRE PREMIER.

### DE LA PRÉPARATION DES BLETTES.

La préparation des blettes pour la fabrication du fer fini est très-simple. Le poids des morceaux une fois déterminé, on approche les blettes d'une cisaille (pl. 29, fig. 38, 39, 40) munie d'un *arrêt a* dont la distance aux couteaux est réglée de manière que chaque morceau tombant soit du poids qui a été trouvé nécessaire ; cette longueur se calcule d'abord d'après la section, en posant :

$$l \times S \times 7000 = P,$$

d'où :

$$l = \frac{P}{7,000\,S},$$

Digitized by Google

7,000 étant la densité supposée du métal. Mais il convient de ne pas s'en rapporter au calcul et de peser une dizaine de morceaux avant de couper les autres.

Les bouts écrus des blettes ne convenant pas comme ceux des barres plates pour la confection des lopins de bouts de barres, il convient d'en faire le moins possible, parce qu'ils ne peuvent être employés que dans les lopins de ferrailles en mélange avec le bidon. Or le bidon est généralement d'assez bonne qualité, et les blettes sont de toutes qualités. Il en résulte que, quand l'emploi de ces bouts n'est pas prévu, il vaut mieux les laisser suffisamment longs et les faire passer comme morceaux.

---

## CHAPITRE II.

### DE LA CONFECTION DES PAQUETS ET LOPINS.

On nomme *paquet* un assemblage régulier de bouts de barres affranchis, de longueur uniforme, à sections égales ou différentes, mais remplissant exactement une section dont le produit, par la longueur précitée, représente exactement le volume de métal que doit renfermer cet assemblage.

On nomme *lopin* un assemblage de ferrailles de toutes dimensions, remplissant, aussi complétement que possible, le volume qui lui est affecté, eu égard au poids qu'il doit représenter.

Les paquets et lopins s'emploient concurremment dans la fabrication du fer, mais rarement pour les mêmes échantillons. Les paquets proviennent tous de fontes ou de ferrailles affinées et étirées en barres après le cinglage, tandis que les lopins proviennent tantôt de bouts écrus des barres ayant servi à la confection des paquets, tantôt de riblons divers et de ferrailles achetées au dehors.

#### § 1er. Des paquets.

Du moment où les boules cinglées provenant de l'affinage ne peuvent être employées telles quelles à la fabrication de tous les fers, il convient, avant qu'elles soient refroidies, de leur communiquer une forme qui leur permette d'entrer dans la composition de tous les paquets. Or le fer, comme les matières textiles filamenteuses, acquiert d'autant plus d'homogénéité, qu'il a été plus étiré; d'un autre côté, quand les barres sont chaudes, si leur étirage se fait au laminoir, il n'en coûte pas plus de les étirer beaucoup que de les étirer peu; enfin, quand on chauffe du fer dans un four, la température pénètre d'autant plus rapidement au cœur du métal, qu'il est moins épais.

Il résulte de là que les boules de fer brut destinées à confectionner les paquets ne doivent être étirées ni en gros ni en petits carrés, mais en plats de diverses largeurs, correspondant à diverses sections de paquets, soit qu'on les emploie seules, soit qu'on les emploie mélangées.

L'épaisseur des barres de fer brut se détermine par les considérations suivantes :

Si elle est *forte*, les boules cinglées risquent moins de faire des bouts au laminage, par suite de la séparation des parties mal soudées; mais la durée du réchauffage de ces barres est plus longue et le déchet des paquets au four à souder est plus considérable.

Si elle est *faible*, les boules cinglées font beaucoup de bouts au laminage; mais les barres en font moins, en poids, au cisaillage; d'un autre côté, si les barres se réchauffent vite au four à souder, le nombre des surfaces en contact avec l'oxygène de la flamme est plus considérable, et le déchet au feu est au moins aussi fort que dans le premier cas.

On a fait de nombreux essais pour déterminer l'épaisseur la plus convenable des barres de fer



Digitized by Google

brut, et on est arrivé à celle de 7 à 8 lignes (anciennes mesures), soit de 16 à 18 millimètres. Comme il ne peut y avoir deux épaisseurs pour barres destinées à être assemblées ensemble, nous adopterons l'épaisseur uniforme de 17 millimètres.

Sous l'empire des anciennes mesures, les barres de fer brut avaient les largeurs suivantes, savoir :

2 pouces, 3 pouces, 4 pouces, 5 pouces et 6 pouces, permettant de faire :

5 pouces, avec 2 pouces et 3 pouces;
6 pouces, avec 3 pouces et 3 pouces;
7 pouces, avec 2 pouces et 5 pouces,
ou 3 pouces et 4 pouces;
8 pouces, avec 4 pouces et 4 pouces,
ou 3 pouces et 5 pouces,
ou 2 pouces et 6 pouces;

et ainsi de suite.

On peut aujourd'hui, dans une forge neuve, remplacer ces largeurs par les suivantes :

50, 75, 100, 125, 150 millimètres,

en observant que l'ancien 6 pouces est un maximum qu'on ne peut dépasser pour les fers puddlés sans obtenir des barres criquées.

En général, plus la qualité des fers est inférieure, moins il faut donner de largeur aux barres brutes.

Inutile de dire que, quand on fait un paquet à deux ou plusieurs largeurs de barres, les joints doivent être croisés comme dans les maçonneries.

Étant donnés le poids et la section d'un paquet, on en détermine immédiatement la longueur, connaissant le nombre et les dimensions des barres qui le composeront, ainsi que le poids du mètre courant de chaque barre.

Cette longueur connue, on a une cisaille munie d'un *arrêt* mobile, que l'on place à une distance des couteaux égale à cette longueur; puis on coupe, en ayant toujours soin d'affranchir les bouts écrus des barres.

On construit ensuite les paquets demandés, et on les relie par des fils de fer dont le seul but est de permettre de les placer dans le four sans qu'ils se déforment. Tout paquet qui se déforme au four, au moment où les fils viennent à se brûler, est un paquet mal fait.

Les paquets ne se composent pas toujours exclusivement de barres brutes. Plusieurs causes, qu'il importe d'examiner, nécessitent souvent l'emploi de fer corroyé une fois, dit fer *ébauché*, ou fer *ballé*, pour la *couverture* des paquets. En effet :

1° Les fers bruts provenant de boules étirées de la même chaude, après cinglage, sont généralement peu homogènes mécaniquement; ils constituent plutôt des amas de filaments, appelés *pailles*, en partie soudés, qu'une barre de métal dans toute l'acception du mot. De plus, ils sont plus ou moins criqués sur les arêtes et les petits côtés. Il en résulte que, quand on les met en paquets, ce n'est, comme la matière textile, qu'à force d'étirage qu'on peut les amener à constituer une barre à superficie bien remplie partout. Lors donc que l'échantillon à fabriquer nécessite, pour être homogène, un étirage supérieur à celui qu'on peut lui donner au moyen des laminoirs dont on dispose et en employant du fer brut, il faut avoir recours à un autre moyen de fabrication. Comme c'est principalement sur les arêtes des fers plats et carrés que se manifestent les inconvénients d'un étirage insuffisant des fers bruts, on a imaginé de composer ces arêtes en fer déjà corroyé une fois, c'est-à-dire ne présentant pas les défauts du fer brut.

Digitized by Google

Comme ce fer coûte un corroyage, soit de 4 à 5 francs de plus par 100 kilogrammes que le fer brut, on a souvent essayé de n'en mettre que dans les angles des paquets destinés à faire des plats, des carrés ou des rails, mais on n'a jamais réussi. Les carrés ainsi posés dans les angles s'écartent des barres contiguës en chauffant, et tombent ou ne soudent pas au laminage. Il a, de toute nécessité, fallu mettre les deux couvertures complètes en fer ébauché. Seulement, s'il faut, pour empêcher de criquer la barre, mettre des angles en fer ébauché un peu épais, on peut, comme cela se pratique à Montataire, évider l'intérieur des barres de fer ébauché, ce qui nécessite autant de laminoirs, il est vrai, pour les couvertures, qu'il y a de dimensions de paquets sur lesquelles l'économie vaut la peine d'être faite; mais la dépense de ces laminoirs ne tarde pas à être payée par cette économie. Nous reviendrons sur cette question.

2° Les fers de fonte au coke sont tendres à chaud et, de plus, assez rouverins pour criquer quelquefois au laminoir, même quand l'étirage est suffisant.

D'un autre côté, les mêmes fers, corroyés, deviennent d'autant plus réfractaires qu'ils ont subi plus de corroyages, ce qui prouve que le corroyage, en leur enlevant du carbone, leur fait perdre aussi le reste du silicium qu'ils contenaient encore au sortir de l'affinage.

Perdent-ils du soufre, du phosphore? Il serait imprudent de l'affirmer; mais ce qui est positif, c'est qu'ils sont plus réfractaires et moins rouverins.

Il résulte de là que, quand la qualité du produit n'est pas indispensable, si la forme de l'échantillon ne peut être réussie en fer brut de fonte au coke pur, parce qu'il crique sur les arêtes, on emploie pour couverture, soit du fer de fonte au coke ébauché, soit du fer brut ou ébauché de fonte de Champagne, mais plutôt du fer brut, parce que ce fer ébauché serait trop dur pour s'étirer également avec le fer tendre de la fonte au coke, pendant le laminage; l'intérieur du paquet s'étirerait seul, et la barre s'ouvrirait en *queue de poisson*.

Dans ce cas, les frais de couverture sont largement compensés par l'économie réalisée sur la composition de l'intérieur du paquet. De plus, si le paquet est un peu gros, ce qui nécessite un assez long séjour dans le four à souder, le déchet est beaucoup moindre que s'il n'y avait pas de couverture. On peut même dire, en thèse générale, que la couverture est une nécessité pour les forts paquets en fer de fonte au coke.

3° Il est encore un cas où la couverture peut être indispensable, c'est celui où, quelle que soit la nature du fer brut, si ce dernier est exclusivement employé, l'étirage nécessaire ne peut se faire d'une seule chaude. En employant des couvertures, l'étirage peut être moindre, et alors se faire d'une seule chaude.

### § 2. Des lopins.

On divise les lopins en :

Lopins de bouts de barres,
Lopins de ferrailles,
Lopins en boîtes,
Lopins de rognures.

Les *lopins de bouts de barres* sont composés de bouts écrus de barres plates affranchies, ayant

Même qualité,
Même largeur,
Même préparation,

Digitized by Google

et assemblés, aussi convenablement que possible, entre deux barres de même longueur, et en fer de même largeur que les bouts.

Quant à la qualité et à la préparation des barres, elles varient suivant l'usage auquel on les destine.

Quand les lopins sont en fer brut, les couvertures sont tantôt fer *brut*, tantôt fer *ébauché;* tantôt de qualité égale à celle des bouts, tantôt de qualité supérieure. Mais, comme nous l'avons déjà observé, le corroyage rend le fer plus réfractaire, et si, d'une part, les barres ébauchées, employées comme couverture, protégent le fer brut de l'intérieur contre l'action de l'oxygène dans les fours, d'autre part elles ne s'allongent au laminage, autant que l'intérieur, qu'autant que le fer les a rendues aussi tendres que lui.

Il convient donc de ne mettre pour couverture à des fers bruts que des fers de qualité égale, ébauchés, ou des fers de qualité immédiatement supérieure, mais bruts.

Les lopins ordinaires sont, comme les paquets, maintenus par des fils de fer.

Quand on songe à la quantité de bouts de barres différents, en qualité, en largeur et en préparation, qui se rencontrent dans les forges, on peut se faire une juste idée du nombre des cases nécessaires au logement des matières premières.

En admettant seulement 5 qualités : A, B, C, D, E, F ; 5 largeurs : 2e, 3e, 4e, 5e, 6e ; 3 préparations : fer brut, fer ébauché, fer corroyé ; il faut, pour loger convenablement tous les bouts,

$$5 \times 5 \times 3 = 75 \text{ cases;}$$

et, si on suppose seulement deux genres de couvertures pour les lopins ordinaires, il faut encore 150 cases pour loger ces derniers, sans compter que chaque case peut elle-même contenir plusieurs poids différents de lopins.

On évite en partie ces dernières cases en ne confectionnant les lopins qu'au fur et à mesure des demandes de la fabrication, ou en ne leur donnant que des dimensions fixes et courantes, comme, par exemple, celles qu'exige généralement l'échantillon auquel on les destine. Ainsi, le fer à maréchal, qui se fait en fer de fonte de Champagne, est un plat de 35 à 40 millimètres de large sur 14 à 16 d'épaisseur, à longueur moyenne de 4 mètres. Ce fer étant toujours demandé, on peut, sans crainte, convertir en lopins du poids d'une barre de fer à maréchal brut tous les bouts de fer de fonte de Champagne ayant la largeur voulue pour l'étirage.

Les *lopins de ferrailles* se composent généralement de *gros bouts* et de *bidons*, aussi serrés et aussi pleins que possible, dans une enveloppe de vieille tôle ou de tôle de rebut maintenue fermée par des fils de fer.

Les *lopins en botte* sont un amas de ferrailles diverses enfermées dans quatre barres de fer tantôt brut, tantôt ébauché. Quand l'enveloppe est en fer brut de fonte au coke et la ferraille composée de bouts de barres carrés ou ronds, rognures de tôle et ferrailles menues, on les nomme lopins en botte *ordinaires*.

Quand les barres sont en fer de fonte de Champagne et l'intérieur en bidon, on les nomme lopins *cornières*, parce qu'ils servent presque exclusivement à la fabrication de ce produit.

Quand, au lieu de quatre barres pour composer les côtés, on en met un nombre double ou triple qui permet, pour de petites largeurs de barres, de faire des lopins ronds, on les nomme lopins *bidons* et *côtés*.

Les *lopins de rognures* se font avec rognures aplaties de grosse tôle, de tôle moyenne et de tôle fine, soit à dimensions spéciales, soit à dimensions ordinaires, et toujours entre deux plaques ou barres de fer ébauché, les rognures étant du fer plusieurs fois corroyé.

Quant au détail de la fabrication proprement dite des lopins, il est fort simple et consiste à

Digitized by Google

munir chaque lopineur d'une table (pl. 29, fig. 41, 42), sur laquelle sont fixées deux barres de fer carrées A, A, de 0.03 de côté, régnant sur toute la longueur et espacées entre elles de 0m.06 environ, de distance en distance; entre ces barres sont des trous dans lesquels on place deux étriers B de la dimension du lopin à confectionner et suffisamment espacés entre eux pour le contenir. Cela fait, l'ouvrier place dans ces étriers soit la couverture du fond, soit les trois côtés formant boîte, soit la tôle, suivant la nature du lopin à confectionner, puis il remplit l'intérieur avec le plus grand soin. Quand le lopin est terminé, il le ferme et le maintient fermé, pour mettre les liens en fer tendre à chaud, au moyen d'un levier C ayant son axe d'oscillation fixé à la table, sur l'extrémité duquel il pèse avec son pied, ce qui lui permet de donner du serrage.

Quand les lopins sont finis, il convient de les peser et d'écrire, sinon sur chaque, du moins sur un certain nombre, avec de la peinture blanche à l'huile, la formule représentant leur composition et le poids qu'ils accusent. C'est surtout pour la nuit que cette précaution est indispensable. Très-souvent il arrive que le travail de la nuit a été réglé et qu'un cylindre, venant à casser, force à changer le travail. Comme il n'y a personne à l'atelier du lopinage la nuit, il convient que la fabrication puisse y trouver facilement ce dont elle a besoin. D'ailleurs, quand on ne marque pas les lopins, on finit par oublier ce dont ils sont composés, surtout quand les composants sont des bouts de barres et des barres. Les vieilles ferrailles peuvent, à la rigueur, se reconnaître, mais les bouts de barres se ressemblent tous à l'aspect.

# TITRE II.

## DE LA FABRICATION DU FER EN BARRES DIT FER MARCHAND.

Le fer en barres se fabrique tantôt au *marteau*, tantôt au *laminoir*. Pendant longtemps on a considéré le *marteau* comme donnant au fer plus de corps que le laminoir; ce préjugé est tellement enraciné encore parmi les populations agricoles, que plusieurs maîtres de forges sont obligés, pour écouler leurs produits fabriqués au laminoir, de leur faire subir un parage au rouge-cerise sous le martinet avant de les expédier.

Il convient de dire, pour la défense des clients, que le laminoir ne s'est introduit dans les forges qu'à la suite de la *méthode anglaise*, c'est-à-dire de la fabrication du fer avec la *fonte au coke* et au moyen du *puddlage*. Jusque-là tous les fers de fonte au bois étaient affinés au charbon de bois et étirés au marteau. Il en résulte qu'encore aujourd'hui beaucoup de personnes s'imaginent, en demandant du fer martelé, recevoir un fer de meilleure qualité que si elles le demandaient laminé.

Le *marteau* n'a la puissance de produire qu'un seul effet incompatible avec l'étirage au laminoir, quand on tient à ne pas casser les cylindres; il permet de *finir* les barres, c'est-à-dire d'*écrouir* le fer, à aussi basse température que l'on veut, ce qui communique à ce dernier, cassé froid, un grain plus fin et plus serré que quand il est fini chaud. Mais cet avantage est éphémère, attendu que, quand on les a réchauffées, les barres refroidies reprennent la texture du fer laminé.

Pour ces raisons, le marteau ne s'emploie plus aujourd'hui, soit pour l'ébauchage, soit pour le finissage, que quand les pièces affectent certaines dimensions que les laminoirs sont insuffisants

Digitized by Google

soit à *prendre*, soit à *donner*. Son utilité comme agent de la fabrication du fer est donc tout à fait subordonnée, d'une part, à la grandeur de la première cannelure du laminoir, d'autre part aux dimensions des commandes que l'on a à exécuter.

On considère, dans le fer en barres, trois particularités qui influent considérablement sur le mode de sa fabrication, savoir :

La forme de la *section* des barres;
Le poids du *mètre courant* des barres;
Le poids *total* des barres.

On donne le nom de *fers ordinaires* aux échantillons dont la section est *rectangulaire*, *carrée* ou *ronde*, et celui de *fers spéciaux* aux échantillons dont la section est tout autre.

Quelles que soient ces sections, elles affectent toutes diverses dimensions comprises entre des limites d'autant plus éloignées que les applications des fers qui les possèdent sont plus étendues. En ce qui concerne les fers ordinaires, les limites de poids du mètre courant fabriqué au laminoir varient entre 0k.10 et 400 kilog. Beaucoup de forges descendent jusqu'à la première, mais il en est fort peu qui atteignent la seconde.

Ce que peu de maîtres de forges ont pu réaliser sous le rapport du mètre courant de barres, beaucoup ont essayé et réussi à le réaliser sous le rapport de la barre entière. On a vu, aux expositions universelles de 1851 à *Londres*, et 1855 à *Paris*, des *rails* ayant jusqu'à 25 mètres de longueur totale, au lieu de 5 à 6 mètres qu'on leur donne généralement.

Des trois particularités ci-dessus spécifiées, la première est une question de *cannelures* dans les cylindres; la seconde est une question de *dimensions* dans les appareils et leurs accessoires, y compris la force motrice; la troisième est principalement une question d'emplacement et de force motrice, en ce sens qu'elle est contenue dans la seconde, mais peut être obtenue sans elle, comme nous le verrons plus loin.

Quels que soient la forme de la section et le poids total de la barre finie, ce qu'il est important de connaître pour déterminer les dimensions des laminoirs, c'est le poids du mètre courant de barres. On comprend, en effet, qu'il ne peut être question de fabriquer, dans le même appareil, des échantillons pesant 0k.10 le mètre courant et des échantillons pesant 400 kilog. le mètre courant. Les premiers non-seulement n'offrent pas la même résistance à l'étirage que les seconds, mais encore se refroidissent infiniment plus vite au contact de l'air; ils doivent, par cette raison, être laminés d'autant plus vite qu'ils sont, d'ailleurs, plus faciles à manœuvrer.

Autrefois on divisait les laminoirs en *petit mill* et *gros mill* (*mill* est un mot anglais qui signifie moulin, moulinet); plus tard on a ajouté le *moyen mill*.

Le *gros mill* étant devenu insuffisant non-seulement pour les gros échantillons, mais encore pour certains échantillons courants qui n'exigent de couvertures qu'à cause de la faible dimension des paquets qui servent à les fabriquer, plusieurs usines emploient aujourd'hui des gros mills qui peuvent prendre, à la première cannelure de l'ébaucheur, des paquets de 0m.35 à 0m.40 de côté. D'autres, plus rationnelles, à notre avis, ont composé leur train de gros mill de deux ébaucheurs et un finisseur au lieu d'un ébaucheur et un finisseur, et évitent ainsi d'avoir un quatrième train de laminoirs.

Comme ces dispositions sont nouvelles et relatives à certains échantillons spéciaux, nous considérerons comme *gros mill* le laminoir dont la première cannelure peut prendre des paquets de 0m.200 de côté au plus, sauf à tenir compte, quand nous en serons là, des perfectionnements dont la fabrication est susceptible. Nous distinguerons donc les trains de laminoirs à fer marchand en trois dimensions, savoir :

Digitized by Google

Le *petit mill*, ou train de laminoirs chargé de la fabrication des petits fers *extra* et des fers marchands ordinaires, dont les sections ne dépassent pas

| | | | |
|---|---|---|---|
| En *plats*. . . | Largeur. . . . . | $27^{mm.}$ | soit $189^{mm.q.}$ |
| | Épaisseur. . . . | 7 | |
| En *carrés*. . | Côté. . . . . | 16 | — 256 |
| En *ronds*. . . | Diamètre. . . . | 18 | — 255 |

et, par conséquent, pèsent au plus 2 kilog. le mètre courant.

Le *moyen mill*, ou train de laminoirs chargé exclusivement de la fabrication des fers marchands ordinaires, dont les sections sont comprises entre :

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Plats. . . . . | $\frac{27^{mm.}}{7}$ | et | $\frac{55^{mm.}}{18}$ | , soit $189^{mm.q.}$ | et | $1{,}000^{mm.q.}$ |
| Carrés. . . . . | 16 | et | 27 | — 256 | et | 730 |
| Ronds. . . . . | 18 | et | 29 | — 255 | et | 660 |

et, par conséquent, pèsent de $1^{k}.60$ à 8 kilog. le mètre courant.

Le *gros mill*, ou train de laminoirs chargé de la fabrication des fers *extra* autres que ceux réservés au petit mill et de fers marchands ordinaires, dont les sections dépassent :

| | | | |
|---|---|---|---|
| En plats. . . . . | $\frac{55^{mm.}}{18}$ | , soit | $1{,}000^{mm.q.}$ |
| En carrés. . . . . | 27 | — | 730 |
| En ronds. . . . . | 29 | — | 660 |

et, par conséquent, pèsent au moins $5^{k}.25$ le mètre courant.

Les longueurs ordinaires des fers marchands fabriqués pour le commerce sont, barres affranchies :

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ronds et carrés, | de | 6 | à | $18^{mm.}$ | . . . . . | | | $4^{m}.00$ | à $4^{m}.50$ |
| — | | de | 20 | à 115 | . . . . . | | | $4^{m}.20$ | à $5^{m}.00$ |
| — | | de | 120 | à 135 | . . . . . | | | $3^{m}.75$ | à $4^{m}.25$ |
| Plats, | de | $14^{mm.}$ | à | $50^{mm.}$ | de large sur | $4^{mm.}.5$ | à $7^{mm.}$ | d'épaisseur. . . | $4^{m}.25$ à $4^{m}.50$ |
| — | de | 14 | à | 40 | — | 9 | à 18 | — . . . | $4^{m}.50$ à $5^{m}.00$ |
| — | de | 45 | à | 54 | — | 9 | à 14 | — . . . | $5^{m}.00$ à $5^{m}.25$ |
| — | de | 54 | à | 162 | — | 14 | à 40 | — . . . | $5^{m}.75$ à $6^{m}.00$ |

Pour se rendre compte des poids que doivent affecter les pièces brutes destinées à donner des barres, à longueur fixe, d'un échantillon déterminé, il convient de tenir compte de la perte au feu que subit le fer, suivant la nature et la composition de la pièce brute, et des bouts écrus qui retournent au chantier des ferrailles comme riblons. Le tableau ci-dessous donne ces chiffres d'une manière suffisamment exacte, en ce sens qu'ils ont été déduits du travail sur une période de temps assez longue; nous y avons ajouté la consommation du charbon.

Digitized by Google

*Tableau des consommations par 1,000 kilogr. de fer en barres affranchies, longueurs courantes.*

| NATURE DES PIÈCES BRUTES. | FER. | | | CHARBON. |
|---|---|---|---|---|
| | PERTE au feu. | REBUTS et ROGNURES. | TOTAL. | |
| | kil. | kil. | kil. | kil. |
| 1e GROS MILL. | | | | |
| Paquets de fer brut sans couverture | 147 | 120 | 267 | 606 |
| Paquets de fer brut avec couverture, ou lopins | 91 | 108 | 199 | 575 |
| Barres corroyées | 85 | 164 | 249 | 578 |
| Blettes pour banderoles et cercles | 57 | 62 | 119 | 708 |
| Paquets et blettes pour fers spéciaux | 149 | 268 | 417 | 1,144 |
| 2e PETIT MILL ET MOYEN MILL. | | | | |
| Paquets de fer brut sans couverture | 141 | 152 | 293 | 751 |
| Barres corroyées | 138 | 47 | 185 | 844 |
| Blettes de fer ordinaire | 102 | 28 | 130 | 678 |
| Blettes pour feuillards minces | 123 | 40 | 163 | 969 |
| Blettes et paquets pour fers spéciaux | 161 | 180 | 341 | 1,142 |

Mais, si les consommations s'élèvent, en moyenne, aux chiffres que nous venons de donner, il arrive fréquemment qu'elles sont de beaucoup inférieures. Pour encourager les ouvriers à fabriquer économiquement, on leur alloue des primes; alors ils atteignent souvent les chiffres suivants, savoir :

| NATURE DES PIÈCES BRUTES. | FER. | | | CHARBON. |
|---|---|---|---|---|
| | PERTE au feu. | REBUTS et ROGNURES. | TOTAL. | |
| | kil. | kil. | kil. | kil. |
| 1e GROS MILL. | | | | |
| Paquets de fer brut sans couverture | 125 | 75 | 200 | 580 |
| Paquets avec couverture ou en lopins | 80 | 70 | 150 | 560 |
| Barres corroyées | 70 | 70 | 140 | 560 |
| Blettes pour banderoles et cercles | 50 | 60 | 110 | 750 |
| Fers spéciaux | 140 | 110 | 250 | 900 |
| 2e PETIT MILL ET MOYEN MILL. | | | | |
| Paquets de fer brut sans couverture | 120 | 75 | 195 | 700 |
| Barres corroyées | 130 | 30 | 160 | 800 |
| Blettes de fer ordinaire | 120 | 20 | 140 | 800 |
| Blettes pour feuillards minces | 125 | 30 | 155 | 900 |
| Blettes et paquets pour fers spéciaux | 130 | 120 | 250 | 900 |

Digitized by Google

Il convient de remarquer que, dans ces tableaux, les rebuts, faits au magasin du fer fini, sont ajoutés aux bouts écrus et tendent à faire supposer ces derniers plus considérables qu'ils ne sont en réalité. Or il y aurait inconvénient à augmenter outre mesure le poids des pièces brutes en vue des bouts écrus; c'est pourquoi nous croyons devoir dire que, dans les fers ordinaires, le poids des bouts écrus ne dépasse jamais 10 pour 100. Il résulte de là que, en supposant, d'une part, une longueur moyenne des barres affranchies de 4m.50 et, d'autre part, une perte au feu de 10 pour 100 et un déchet, en bouts écrus, de 10 pour 100 également, les poids des pièces, en dimensions ordinaires, travaillées aux laminoirs, sont :

Pour le petit mill, maximum :

$$100 : 120 :: 4.50 \times 2^{k} : x = 10^{k}.80, \text{ net } 11 \text{ kilog.};$$

Pour le gros mill, minimum :

$$100 : 120 :: 4.50 \times 5^{k}.25 : x = 28^{k}.5, \text{ net } 30 \text{ kilog.};$$

Pour le moyen mill :

De 11 à 30 kilog.

Quelle que soit la section des barres du *fer marchand, plat, carré, rond* ou *extra*, les *qualités, formes* et *dimensions* des pièces employées à sa fabrication varient suivant :

1° Les qualités à froid et à chaud que doit affecter la barre;
2° Le plus ou moins d'importance qu'a le chauffage sur la réussite de la barre;
3° La température à laquelle la barre se finit au laminoir.

En ce qui concerne les *qualités* de la barre, il peut se présenter trois cas, savoir :

1° Ou le fer doit être *bon à froid* seulement,
2° Ou le fer doit être *bon à chaud* principalement,
3° Ou le fer doit être *bon à froid* et *à chaud*.

Les fers *bons à froid* seulement constituent l'immense majorité des fers marchands ordinaires et extra et se fabriquent, autant que possible, avec le fer de fonte au coke pur.

Les fers *bons à chaud*, principalement, sont presque exclusivement destinés à la fabrication des objets de quincaillerie et aux fers de chevaux. On les comprend sous la dénomination générale de *fers à maréchal* et on les fabrique, de préférence, avec le fer de fonte de *Champagne* ou analogues.

Les fers *bons à froid* et *à chaud*, que l'on emploie pour *rivets, ronds à câbles, bandages de chemins de fer* et *pièces mécaniques*, constituent ce qu'on appelle les *fers fins* et se fabriquent soit avec les fers de fontes fines puddlées, soit avec les ferrailles choisies, soit avec les fers provenant du puddlage de mélanges divers entre fontes fines et fontes de Champagne choisies.

Rarement on emploie pour la fabrication du fer en barres le fer forgé, c'est-à-dire provenant de fontes fines affinées au charbon de bois. Ces fers sont généralement réservés pour les tôles dites forgées, destinées soit à l'emboutissage, soit à la préparation du fer-blanc.

Mais ces règles sont loin d'être sans exception. En effet, si les fers qualité ordinaire n'ont besoin que d'être *bons à froid* pour être acceptés par le commerce, ils n'ont pas moins besoin d'être suffisamment bons à chaud pour ne pas criquer à l'étirage. Or les fers de fonte au coke, quelque phosphoreux qu'ils soient, se ressentent toujours de la présence du *soufre*, qui leur a valu le nom de *fers de couleur* ou *fers rouverins*.



Digitized by Google

En général, quand ces fers sont finis *chauds*, c'est-à-dire affectant la température *rouge-cerise* quand ils entrent dans la dernière cannelure du laminoir, ils se comportent bien et ne *criquent* jamais; mais s'ils sont finis *froids*, c'est-à-dire affectant la température *rouge-brun* quand ils entrent dans la dernière cannelure du laminoir, ils criquent sur les arêtes et sont invendables.

Or ce dernier cas est celui de tous les échantillons minces laminés trop lentement, eu égard à leur épaisseur, tels que *feuillards*, *rubans* et *cercles;* aussi n'est-il pas rare de voir des usines, convenablement outillées, fabriquer couramment, en fers de fonte au coke pur, des échantillons que leurs voisins, employant les mêmes procédés de fabrication, sont obligés de fabriquer en fer de fonte de Champagne ou en mélange divers de qualité supérieure au fer de fonte au coke pur.

Le caractère le plus distinctif des fers finis chauds ou froids est le suivant, savoir :

Quand les fers ont été finis *chauds*, leur surface est recouverte de deutoxyde et affecte une teinte bleue; s'ils ont été finis trop chauds, l'épaisseur de l'oxyde est assez grande pour se détacher de la barre en écailles au moment du retrait du métal; si, au contraire, ils ont été finis convenablement chauds, ils sont ce qu'on appelle *propres*.

Quand les fers ont été finis *froids*, leur surface est recouverte de peroxyde et affecte une teinte rouge qui s'attache aux mains quand on les prend.

Lors donc qu'on fabrique un échantillon mince, s'il crique au laminoir, il est très-facile de voir si cela tient exclusivement à la qualité du métal employé ou à une vitesse trop faible, eu égard au refroidissement de la barre.

Quand on ne peut augmenter la vitesse du laminage, il est un moyen d'éviter la substitution du fer de fonte de Champagne en fer de fonte au coke; ce moyen consiste à passer sa barre en plusieurs chaudes, de manière qu'elle soit toujours au moins rouge-cerise quand elle entre dans une *cannelure*. Comme procédé courant de fabrication, c'est un triste et coûteux moyen; mais, comme procédé éventuel, c'est un moyen qui n'est pas à dédaigner. Les usines ont beau être montées sur un bon pied, il arrive fréquemment que certaines parties du service, la vapeur, par exemple, pèchent par insuffisance. Dans ce cas, il faut trouver un remède; quand il s'agit de fabrication d'échantillons minces, en qualité ordinaire, il y en a deux, comme nous venons de le voir :

Ou ne pas modifier la composition et augmenter le nombre des chaudes, ou employer une composition meilleure à chaud et ne pas s'inquiéter du ralentissement.

Dans le premier cas, on fait des barres de moins bonne qualité que dans le second, quoique coûtant aussi cher, à cause des chauffages réitérés, mais *bleues*, et, pour cette raison, préférées par le commerce.

Dans le second cas, on fait des barres de qualité supérieure, mais *rouges*, et, pour cette raison, moins estimées que les précédentes.

Ces faits expliquent pourquoi les feuillards ne se font bien, avec grand bénéfice, que dans certaines usines spécialement montées en vue de cette fabrication, n'employant que de la fonte au coke et donnant des produits *bleus* et sans criques. Quand, au contraire, on veut tout faire, comme certaines usines des environs de Paris qui n'ont leur raison d'être que par la variété de leurs échantillons, non-seulement on fait inférieur comme produit, mais encore on dépense plus pour la matière première et surtout par les modifications apportées fréquemment au travail.

En ce qui concerne la *forme* des pièces servant à la confection des barres, elle varie principalement suivant le temps que devra durer leur chauffage, pour que le soudage à cœur soit parfait, et le degré d'étirage qu'elles auront à subir au laminoir.

Nous avons vu (page 231) que les *pièces* servant à la confection des barres sont de trois espèces, savoir :

Digitized by Google

Les blettes,
Les paquets,
Les lopins.

Nous avons vu également (page 234) que les paquets et lopins peuvent être *avec* ou *sans couverture*, et que la couverture, toujours plus réfractaire que l'intérieur, ne doit pas cependant différer considérablement dudit intérieur, si on tient à ce qu'il y ait soudage entre ces deux parties et à ce que, pendant le laminage, l'intérieur ne s'allonge pas plus que la couverture.

Quand les pièces sont destinées à la confection de petits échantillons, elles ont nécessairement elles-mêmes une petite section; dans ce cas, si, d'une part, le chauffage doit être fort, parce que l'échantillon ne comporte pas de *veines*, et si, d'autre part, l'étirage n'est pas considérable, il est bien difficile, sinon impossible, d'employer des paquets, et surtout des paquets avec couverture. Aussi peut-on dire que la plus grande partie des échantillons soignés du petit mill se fabrique avec des blettes ébauchées. Pour les échantillons ordinaires, on emploie, autant que possible, des paquets de trois barres de 3e, si l'étirage ne doit pas être fort, et des blettes de fer brut si l'étirage est suffisant et, surtout, si l'intérieur doit être bien soudé, comme pour *rivets*, par exemple.

Ce que nous venons de dire concernant le *petit mill* s'applique également au *gros mill*, mais en sens inverse. Quant au *moyen mill*, la pièce à étirer doit, pour les neuf dixièmes des cas, être le paquet sans couverture pour les échantillons à grand étirage et avec couverture pour les échantillons à petit étirage.

Nous ne pouvons en dire plus pour le moment, devant revenir longuement sur ce sujet à propos de l'étirage.

En ce qui concerne les *dimensions* des pièces, il est évident que, du moment où un grand nombre d'échantillons réussissent, quoique résultant de paquets étirés, tous les échantillons devraient également réussir quand on emploie des paquets, et que, si cela n'a pas lieu pour un grand nombre, s'il faut des *couvertures* ou des *blettes*, cela tient presque exclusivement à ce que l'étirage est insuffisant. Ainsi, comme on le voit, s'il est quelques circonstances particulières qui influent sur la qualité du fer et la forme des pièces, on peut dire que, en général, les *qualités*, *formes* et *dimensions* des pièces à convertir en barres sont trois points du problème de la fabrication du fer fini qui se lient plus ou moins intimement aux questions du chauffage et de l'étirage proprement dits, et, si nous les avons préalablement abordées, c'est afin de faire bien comprendre, de prime abord, le sens dans lequel nous allons en parler maintenant. A cet effet, nous allons traiter, chacune isolément, les diverses questions concernant la fabrication du fer en barres, en commençant par les deux principales, qui sont le *chauffage* et le *laminage*.

## CHAPITRE PREMIER.

### DU CHAUFFAGE DES PIÈCES EN VUE DE LA FABRICATION DU FER EN BARRES.

Le chauffage des pièces en vue de la fabrication du fer en barres a pour but tantôt le *soudage* et l'*étirage*, tantôt l'*étirage* seulement.

Quand le chauffage a pour but le *soudage* et l'*étirage*, le métal doit sortir du four *suant;* quand, au contraire, il n'a pour but que l'*étirage*, le métal ne comporte, à la rigueur, comme *l'acier fondu* en lingots, qu'une température *rouge clair;* mais ce dernier cas, fréquent pour la tôle fine, est

Digitized by Google

inusité quand il s'agit de fer en barres; il est, théoriquement, la conséquence de l'étirage en deux chaudes, c'est-à-dire une chaude pour *souder* et une chaude pour *étirer*, mais on se garde généralement d'en faire l'application, parce que les fers sortant du laminoir ébaucheur après la première chaude, quoique serrés avec soin, ne sont jamais si parfaitement soudés qu'une seconde chaude suante soit inutile. Aussi, quel que soit celui des deux buts en vue duquel le chauffage a lieu pour la fabrication du fer en barres, il s'effectue toujours à la chaleur suante, et, de tous les appareils de chauffage que l'on peut employer pour cette opération, le four à réverbère est, sans contredit, le meilleur.

Nous avons donné (page 173) les conditions générales auxquelles doit satisfaire le four à réverbère pour chauffer le fer; nous n'avons donc à l'envisager ici que sous le point de vue spécial de l'opération à laquelle il s'agit de l'appliquer.

Les fours à réverbère (pl. 29, fig. 43, 44) employés au chauffage du fer, pour la fabrication du fer marchand, ne sont pas tous de la même dimension; ils varient suivant les dimensions et le nombre des pièces que l'on peut y charger à la fois. Cette variation n'est cependant pas grande entre le petit mill et le gros mill, quand ce dernier ne dépasse pas les dimensions courantes du commerce, parce que plus les échantillons sont petits, plus le nombre que l'on peut en chauffer et passer, dans le même temps, est considérable. Aussi est-il bon nombre d'échantillons au petit mill, que l'on fabrique, pour ainsi dire, à chaude continue, en ce sens que, quand on retire du four les premiers paquets pour les étirer, le temps qui s'écoule entre leur étirage et celui des derniers est suffisant pour le chauffage de nouveaux paquets: il n'y a alors d'interruption que pour les repas des ouvriers ou pour changer les cylindres, quand on change d'échantillons. Au *gros mill*, au contraire, il faut, pour certains échantillons, deux heures de feu soutenu, et, comme l'étirage de ces échantillons s'effectue en un quart d'heure au plus, il en résulte que les chaudes sont nécessairement intermittentes.

On peut compter, pour dimensions des soles, les chiffres suivants :

| | | mètres. |
|---|---|---|
| Petit mill. . . . . | longueur. . . . . | 2.40 |
| | largeur. . . . . | 1.50 |
| Moyen mill. . . . . | longueur. . . . . | 2.60 |
| | largeur. . . . . | 1.65 |
| Gros mill. . . . . | longueur. . . . . | 2.80 |
| | largeur. . . . . | 1.80 |

Les grilles ont alors :

| | | |
|---|---|---|
| Petit mill. . . . . | longueur. . . . . | 0.80 |
| | largeur. . . . . | 1.00 |
| Moyen mill. . . . . | longueur. . . . . | 1.00 |
| | largeur. . . . . | 1.00 |
| Gros mill. . . . . | longueur. . . . . | 1.00 |
| | largeur. . . . . | 1.20 |

La hauteur de l'autel A, au-dessus de la sole, est de $0^m.20$ dans les petits fours et de $0^m.30$ dans les grands. Le passage de la flamme entre la voûte et l'autel est de $0^m.30$ dans les petits fours et de $0^m.40$ dans les grands.

La hauteur de l'autel, au-dessus de la grille, est toujours de $0^m.50$. Les soles à chauffer le fer ne sont jamais horizontales; elles ont une inclinaison, de la porte à la face opposée, de $0^m.02$ à $0^m.03$ par mètre, et, de la porte à l'orifice d'échappement des fumées, de $0^m.05$ par mètre. Le

Digitized by Google

but de ces inclinaisons est de favoriser l'écoulement, hors du four, des silicates liquides qui se forment, au contact de la sole, avec les battitures liquides qui découlent du métal suant.

La paroi verticale B du four opposée à la porte est généralement une surface cylindrique, à base circulaire, dont le centre est au milieu de la porte. Le but de cette disposition est non-seulement de faciliter la manœuvre des paquets dans le four, en les plaçant tous à égale distance de la porte, mais encore de ramener la flamme vers la porte, où le chauffage est toujours moindre qu'au fond, à cause du refroidissement qui résulte de son peu d'épaisseur.

Les portes des fours à réverbère se composent de deux parties : l'une fixe C, qu'on appelle le *cadre;* l'autre mobile D, qu'on appelle la *porte*. Ces deux pièces sont en fonte et mises à l'abri du feu, la première par la paroi latérale et contiguë du four, l'autre par des briques réfractaires encadrées dans son intérieur.

Les dimensions des portes varient suivant les échantillons à chauffer; celles des fours à petits fers ont 0m.30 de côté, et celles des fours à gros fers ont 0m.50, 0m.60, etc., de côté, suivant les dimensions des paquets à introduire. Il est même des fours qui ont soit deux portes de dimensions différentes et placées vis-à-vis l'une de l'autre, soit des portes dont les cadres entrent les uns dans les autres et permettent de n'ouvrir le four que de la quantité absolument nécessaire. La première disposition, qui est très-commode, présente, à notre avis, l'inconvénient de nuire au chauffage, par le refroidissement qui a lieu de chaque côté du four. La seconde est très-bonne, mais les cadres, qui s'emboîtent les uns dans les autres, se trouvent forcément en contact avec l'intérieur du four et se détériorent très-rapidement. Ce qu'il y a de mieux, c'est d'avoir plusieurs fours de rechange avec des dimensions de portes différentes.

L'alimentation de la grille en combustible se fait par un orifice évasé E placé sur le côté du four et ayant 0m.20 de côté, carré à son entrée dans le four. Cet orifice, garni de fonte à l'intérieur, se nomme *gueulard;* il est situé à peu près à 0m.35 environ au-dessus de la grille. Une des particularités de cet appareil, c'est qu'il sert au chauffeur de fumivore pour produire une chaleur intense. Sa fermeture s'effectuant avec du combustible menu, les chauffeurs ont toujours soin de laisser en haut un petit passage pour l'air, qui, en s'introduisant dans le four, favorise la combustion intégrale du gaz et produit de l'acide carbonique là où il n'y aurait souvent que de l'oxyde de carbone. Ce passage, toutefois, n'est convenable que quand le tirage a lieu par aspiration; quand le chauffage a lieu à vent forcé, il convient, au contraire, de bien boucher le gueulard, afin d'empêcher la sortie des flammes de ce côté.

Nous l'avons dit, le vent forcé, appliqué à tous les fours à réverbère, donne une économie notable dans la dépense en combustible et accélère les opérations; mais il ne faut pas en abuser. Les petits fers le comportent dès leur entrée dans le four, mais les gros ont besoin d'un chauffage lent, au commencement de la chaude, qui permette au calorique de pénétrer à cœur.

A l'extrémité inférieure de la sole se trouve le trou à laitier F : c'est une capacité d'un quart de mètre cube environ, évasée dans le haut, dans laquelle se rendent les silicates liquides. Il convient que la température, dans cette capacité, soit toujours suffisante pour que le laitier ne s'y fige pas. A cet effet, on a soin de faire plonger la voûte assez pour que ce résultat soit obtenu, mais pas assez pour que l'axe de la flamme traverse les paquets de métal à chauffer. Cela dépend, du reste, beaucoup du sens dans lequel est dirigée la flamme au sortir du four.

La sole du four à réverbère, pour chauffer le fer, est en sable réfractaire. Quand on n'a pas de sable, comme dans le bassin de la Loire, on achète du quartz en morceaux, qui se rencontre précisément en abondance dans les terrains de ce pays. On chauffe ce quartz dans un four à réverbère et le projette, rouge, dans une bâche remplie d'eau. Cette opération le rend cassant et, de plus, le nettoie. Quand il a été ainsi préparé, on le crible et le broie sous un molleton. La prépa-

Digitized by Google

ration de la sole consiste à recouvrir sa surface soit de sable, soit de quartz pulvérisé, en ayant soin de remplir toutes les cavités et sillons qu'a creusés le laitier. On donne ensuite une chaude suante, et le quartz, en contact avec les matières fusibles sur lesquelles il a été posé, prend une demi-fusion et se vitrifie. Quand il est dans cet état, la sole est bonne à recevoir des paquets de métal à chauffer.

Dans le chauffage de l'acier fondu, qui a lieu au rouge blanc, on fait la sole très-rarement, parce qu'il n'y a pas génération sensible de laitier; mais, quand il s'agit d'acier à corroyer ou de fer à souder, il faut refaire la sole d'autant plus souvent que la température à laquelle on opère est plus élevée.

Pour le fer, on répare la sole après chaque chaude, ce qui prend environ une demi-heure, puis on la refait complétement toutes les six heures, ce qui occupe alors une bonne heure; les ouvriers profitent de ce moment pour prendre leur repas.

Quand on emploie du sable réfractaire, qui revient, suivant les localités, à 4, 5 ou 6 fr. le mètre cube et pèse 1,200 kilog., chaque four en consomme 5 hectolitres environ par vingt-quatre heures.

Nous avons dit que, si on pouvait toujours donner aux pièces, à étirer, la section que comporte la réussite au laminoir de l'échantillon fabriqué en fer brut, on pourrait supprimer les couvertures et diminuer ainsi considérablement les frais de fabrication. Cela est vrai quand on n'envisage la couverture qu'au point de vue de l'étirage; mais l'étirage n'est pas le seul motif qui nécessite les couvertures; le chauffage des pièces qui, en raison de leurs fortes dimensions, font un long séjour dans le four, quand on veut qu'elles soudent à cœur, exige, au moins aussi fréquemment que l'étirage, l'emploi des couvertures. Sans couvertures, ces pièces, outre qu'elles font un déchet considérable, sont tout au plus bonnes à étirer en fer ébauché.

La gaine des fours à réverbère a de 0m.50 à 0m.60 de côté et est fermée par un registre horizontal de même dimension.

On peut estimer ainsi qu'il suit la valeur d'un four à réchauffer le fer :

| | |
|---|---|
| 5,000 briques réfractaires à 140 fr. . . . . | 700 fr. |
| Maçons. . . . . | 175 |
| Fer, quarante montants à 100 kilog., 4,000 kilog. à 30 fr. . . . | 1,200 |
| Tirants, 1,000 kilog. à 30 fr. . . . . | 300 |
| Vieille tôle pour armature extérieure, 2,000 kilog. à 20 fr. . . . | 400 |
| Fontes diverses, 2,000 kilog. à 30 fr. . . . . | 600 |
| Total. . . . . | 3,375 fr. |

Une précaution importante à prendre quand on construit un four, c'est de le tenir aussi éloigné que possible des marteaux-pilons, dont les secousses, quoi qu'on fasse, finissent toujours par démolir les voûtes bien avant qu'elles aient besoin d'être renouvelées. Un des moyens de lutter contre l'affaissement anticipé des voûtes de four et aussi contre la déformation des fours eux-mêmes est, au lieu d'enfoncer simplement dans le sol les montants *a*, *a* (fig. 45) destinés à maintenir en place les tôles d'armatures, de les empêcher de s'écarter, au moyen de longerons en fer *b*, *b* maintenus en place par des étriers *c* en fer à T placés de distance en distance.

Nous terminerons ce que nous avons à dire concernant le chauffage par les tableaux suivants des quantités de chaque échantillon courant que l'on peut fabriquer en douze heures, tant au *petit mill* qu'au *moyen mill* et au *gros mill*, en supposant un four, seulement, pour les échantillons du *petit* et du *moyen mill* et deux fours pour les échantillons du *gros mill*.

Digitized by Google

1° *Tableau des quantités de fer fabriquées au* moyen mill *pendant dix-sept séances successives de douze heures, et à un four, en changeant au plus deux fois les cylindres finisseurs par douze heures :*

| NOMBRE de CHARGES. | ENTRÉE AU FOUR. | SORTIE du LAMINOIR. | CHARBON CONSOMMÉ. | MISE AU MILLE DE FER LAMINÉ. | | NATURE DU CHARBON employé. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Matière première. | Charbon. | | |
| | Kil. | Kil. | Kil. | | | | |
| 8 | 3172 | 2629 | 2090 | 1210 | 785 | Très-bon. | |
| 10 | 3385 | 2853 | 1750 | 1183 | 612 | Ordinaire. | |
| 9 | 3554 | 3050 | 1985 | 1170 | 650 | *Id.* | |
| 8 | 3743 | 3261 | 1550 | 1150 | 476 | *Id.* | |
| 11 | 4092 | 3558 | 1985 | 1150 | 560 | *Id.* | |
| 5 | 2350 | 1919 | 1625 | 1222 | 848 | *Id.* | Accident. |
| 9 | 2852 | 2467 | 1945 | 1160 | 790 | *Id.* | |
| 12 | 3867 | 3337 | 2345 | 1160 | 700 | *Id.* | |
| 11 | 4305 | 3587 | 2490 | 1200 | 694 | *Id.* | |
| 7 | 3159 | 2769 | 3000 | 1140 | 940 | *Id.* | |
| 8 | 3772 | 3333 | 2210 | 1135 | 663 | *Id.* | |
| 7 | 3293 | 2837 | 2210 | 1160 | 780 | *Id.* | |
| 9 | 3949 | 3533 | 1540 | 1115 | 436 | *Id.* | |
| 8 | 3716 | 3291 | 1735 | 1130 | 529 | Très-bon. | |
| 10 | 4240 | 3772 | 2260 | 1130 | 600 | *Id.* | |
| 3 | 1376 | 1194 | 1480 | 1150 | 1240 | Ordinaire. | Accident. |
| 12 | 5110 | 4497 | 2410 | 1140 | 536 | *Id.* | |
| **Moyenne, par 12 heures, à un four.** | | | | | | | |
| 8.64 | 3525.5 | 3052.1 | 2033.8 | 1150 | 665 | | |

2° *Tableau des poids approximatifs de fer en barres que l'on peut fabriquer en douze heures au* petit *et au* gros mill, *en changeant seulement une fois de cylindres toutes les douze heures.*

1° PETIT MILL TRAVAILLANT A UN FOUR.

*Feuillards sur 1 millimètre d'épaisseur.*

| LARGEURS. Millim. | Kilogr. | |
|---|---|---|
| 14. | 700 | Fabriqués ordinairement avec blettes de fonte au bois, à D². (Voir, pour les compositions, le tableau des pages 228 et suivantes.) |
| 16. | 800 | |
| 20. | 1000 | |
| 25. | 1300 | |
| 30. | 1500 | |
| 35. | 1600 | |
| 40. | 1700 | |
| 45. | 1800 | |
| 50. | 2000 | Fabriqués en fonte au bois ébauchée en plat, D. |
| 55. | 2200 | |

Digitized by Google

*1/2 feuillards sur 1 millimètre 1/2 d'épaisseur.*

| LARGEURS. Millim. | Kilogr. | |
|---|---|---|
| 14. | 800 | Fabriqués en blettes de fonte au bois, bD³. |
| 16. | 1000 | |
| 20. | 1300 | |
| 25. | 1700 | |
| 30. | 2100 | |
| 35. | 2300 | |
| 40. | 2500 | |
| 45. | 2600 | |
| 50. | 2700 | Fabriqués en fonte au bois ébauchée en plat, D³. |
| 55. | 2800 | |

*1/2 feuillards sur 2 millimètres d'épaisseur.*

| | | |
|---|---|---|
| 16. | 1300 | Fabriqués en blettes de ferraille, bH³. |
| 20. | 1600 | |
| 25. | 2000 | |
| 30. | 2500 | |
| 35. | 2800 | |
| 40. | 3100 | |
| 45. | 3200 | |
| 50. | 3400 | En fonte mélangée, ébauchée en plat, E³. |
| 55. | 3600 | |

*1/2 feuillards sur 2 millimètres 1/2 d'épaisseur.*

| | | |
|---|---|---|
| 16. | 1500 | En blettes de ferraille, bH³. |
| 20. | 1700 | |
| 25. | 2100 | |
| 30. | 2700 | |
| 35. | 3000 | |
| 40. | 3100 | |
| 45. | 3900 | |
| 50. | 4200 | En fonte mélangée, ébauchée en plat, E³. |
| 55. | 4000 | |

*1/2 feuillards sur 3 millimètres d'épaisseur.*

| | | |
|---|---|---|
| 16. | 1600 | Fabriqués en blettes de ferraille, bH³. |
| 20. | 1900 | |
| 25. | 2100 | |
| 30. | 2900 | |
| 35. | 3300 | |
| 40. | 3600 | |
| 45. | 3800 | |
| 50. | 3800 | En fonte mélangée, ébauchée en plat, E³. |
| 55. | 3400 | |

*Aplatis sur 3 millimètres 1/2 d'épaisseur.*

| | | |
|---|---|---|
| 16. | 1800 | En blettes de ferraille, bH³. |
| 20. | 2100 | |
| 25. | 2500 | |
| 30. | 3000 | |
| 35. | 3400 | |
| 40. | 4000 | |

Digitized by Google

| LARGEURS. Millim. | Kilogr. | |
|---|---|---|
| 45. | 3200 | En paquets de fonte mélangée, 3°, E. |
| 50. | 3400 | |
| 55. | 3600 | |

*Aplatis sur 4 millimètres 1/2 d'épaisseur.*

| | | |
|---|---|---|
| 16. | 1900 | En blettes de ferraille, bH¹. |
| 20. | 2200 | |
| 25. | 2600 | |
| 30. | 3200 | |
| 35. | 3600 | |
| 40. | 3500 | En paquets de fonte mélangée, 3°, E. |
| 45. | 3700 | |
| 50. | 3800 | |
| 55. | 4000 | |

*Cornières.*

| COTÉ | | |
|---|---|---|
| 20. | 2500 | En blettes de ferraille, bH¹. |
| 25. | 3000 | |
| 30. | 3600 | |
| 35. | 4200 | |
| 30/40. | 3500 | |

*Ronds au guide.*

| DIAMÈTRES. | | |
|---|---|---|
| 6. | 1200 | En blettes de débris de cisailles et bouts de fonte puddlée cassés, bE¹, bF², E^X, F^X. |
| 7. | 1500 | |
| 8. | 2000 | |
| 9. | 2500 | |
| 10. | 3100 | |
| 11. | 3800 | |
| 12. | 4100 | |
| 13. | 4300 | |
| 14. | 4600 | |

*Ronds à la tenaille.*

| | | |
|---|---|---|
| 15. | 2400 | Fabriqués avec blettes ordinaires, bF. |
| 16. | 3200 | |
| 18. | 2800 | Fabriqués en paquets de fonte puddlée, 3°, F. |
| 20. | 3200 | |
| 23. | 3700 | |
| 25. | 4100 | |
| 27. | 4400 | |
| 29. | 4700 | |

*Carrés.*

| COTÉ. | | |
|---|---|---|
| 6. | 1000 | Fabriqués en blettes ordinaires, bF. |
| 7. | 1200 | |
| 8. | 1600 | |
| 9. | 2200 | |
| 10. | 2600 | |
| 11. | 3000 | |
| 12. | 3300 | |
| 14. | 3800 | |
| 15. | 4000 | |
| 16. | 4500 | |



Digitized by Google

| COTÉ. Millim. | Kilogr. | |
|---|---|---|
| 18. . . . . | 3200 | Fabriqués en paquets de fonte puddlée, 3e, F. |
| 20. . . . . | 3600 | |
| 23. . . . . | 4000 | |
| 25. . . . . | 4400 | |
| 27. . . . . | 4400 | |

*Bandelettes.*

| LARGEURS. | | | Kilogr. | |
|---|---|---|---|---|
| De 14 à 20 | sur 4 1/2. . . . . | | 1600 | En blettes ordinaires, 5F. |
| 23 29 | id. . . . . | | 2200 | |
| 32 45 | id. . . . . | | 2900 | |
| 14 20 | 6. . . . . | | 1900 | |
| 23 29 | id. . . . . | | 2700 | |
| 32 45 | id. . . . . | | 3500 | |
| 14 20 | 7. . . . . | | 2100 | |
| 23 29 | id. . . . . | | 3000 | |
| 32 36 | id. . . . . | | 3600 | |
| 38 50 | id. . . . . | | 3200 | En paquets de fonte puddlée, 3e, F. |

Plats de 27 à 55mm de large sur 9 à 16mm d'épaiss., 3800 kilogr. en paquets de fonte puddlée, 3e, F.

2e GROS MILL TRAVAILLANT A DEUX FOURS.

*Ronds.*

| DIAMÈTRES. Millim. | | Kilogr. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| De 29 à 38. . | 3500 | en paquets de fonte puddlée, 4e, sans couverture, F. | | | | | | |
| 40 60. . | 3900 | id. | lopinée, | 5e, | avec couverture | fonte au bois puddlée réchauffée, | | D2F. |
| 65 81. . | 4100 | id. | id., | 5e, | id. | id. | | id. |
| 88 100. . | 3700 | id. | id., | 6e, | avec couverture | ordinaire, | F2F. | |
| 108 135. . | 2800 | id. | id., | 7e et 8e, | id. | | | |

*Carrés, gros mill.*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| De 27 à 32. . | 3700 | en paquets de fonte puddlée, 3e, | ordinaire | et couverture de | 3e, | fonte puddlée au bois, | D2F. |
| 36 40. . | 4200 | id. | id., | 4e, | id. | 4e, | id. |
| 45 60. . | 4500 | id. | id., | 5e, | id. | 5e, | F2F. |
| 65 81. . | 4000 | id. | id., | 6e, | id. | id. | |
| 88 95. . | 3500 | id. | id., | 7e, | id. | id. | |
| 100 135. . | 2400 | id. | id., | 8e, | id. | id. | |

*Plats.*

| LARGEURS. Millim. | | ÉPAISSEURS. Millim. | | Kilogr. |
|---|---|---|---|---|
| De 45 à 80 | sur | 9 à 40. . . . . | | 4000 |
| 88 100 | | 9 40. . . . . | | 4500 |
| 115 165 | | 9 40. . . . . | | 3600 |

*Cornières.*

| COTÉ. Millim. | Kilogr. | | |
|---|---|---|---|
| De 40 à 60. . . . . | 2800 | en deux chaudes, | H. |
| 65 75. . . . . | 3400 | id., | id. |
| 80 90. . . . . | 3600 | id., | id. |
| Côtés inégaux. . . . . | 3000 | id., | id. |

Digitized by Google

*Bandes.*

| LARGEURS. Millim. | ÉPAISSEURS. Millim. | LONGUEURS. | Kilogr. | |
|---|---|---|---|---|
| 220 sur | 6 à 7, | 4 mètres environ. . . . . | 3500 | En barres ébauchées en plats provenant de lopins en rognures de tôle, FgF$^r$. |
| 200 | *id.*, | *id.* . . . . . | 4000 | |
| 180 | *id.*, | *id.* . . . . . | 4200 | |
| 162 sur | 4 à 5, | 4 mètres environ. . . . . | 4400 | |
| 150 | *id.*, | *id.* . . . . . | 4400 | |
| 135 | *id.*, | *id.* . . . . . | 4400 | |

*Longerons.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 200 sur | 30, | 6 à 7 mètres. . . . . | 2700 | En deux chaudes. |
| 220 | 30, | *id.* . . . . . | 2400 | |

*Doubles T.*

| | | |
|---|---|---|
| Grand modèle, 6 à 7 mètres de long. . . . . | 1500 | En deux chaudes, FgF$^r$. |
| Petit modèle, 4 à 5 mètres de long. . . . . | 1800 | |

Le *petit mill* travaille toujours à *un* four.

Le *moyen mill* travaille à *un* ou *deux* fours.

Le *gros mill* travaille à *deux* ou *trois* fours.

Le nombre des charges par douze heures varie, à chaque train, comme au *moyen mill*, entre 8 et 12.

---

## CHAPITRE II.

### DU LAMINAGE DES PIÈCES EN VUE DE LA FABRICATION DU FER EN BARRES.

On distingue dans le laminage des pièces, en vue de la fabrication du fer en barres, deux opérations principales, savoir :

Le *serrage*, qui a pour but d'achever le soudage commencé au four par la température ;

L'*étirage*, qui a pour but de communiquer à la pièce les formes et dimensions que doit avoir la barre finie.

La première, qui porte le nom d'*ébauchage*, s'effectue tantôt au *laminoir*, tantôt au *marteau*, tantôt aux deux, suivant la nature du métal et surtout suivant les dimensions qu'il convient de donner à la pièce brute pour que l'étirage que comporte l'échantillon à fabriquer soit suffisant. On comprend, en effet, que, si la réussite d'un échantillon exige impérieusement un étirage déterminé, dût cet étirage donner lieu à une section de pièce brute supérieure à celle que peut prendre la plus forte cannelure du laminoir, il vaut mieux donner cette section à la pièce et la serrer au marteau que lui donner une section moindre, afin de pouvoir laminer au sortir du four et risquer de la manquer.

La seconde, qui porte le nom de *finissage*, s'effectue toujours au laminoir ; il faut, comme nous l'avons dit (page 237), les exigences de la routine pour que les maîtres de forges se décident à faire parer les pièces laminées au marteau.

Nous allons passer successivement en revue ces deux opérations.

#### § 1$^{er}$. De l'ébauchage.

1° *Ébauchage au laminoir.* — Quelle que soit la section de la barre finie, la pièce qui sert à la

Digitized by Google

confectionner a toujours pour section un carré ou un rectangle, excepté quand il s'agit de blettes qui ont pour section la section de la pièce qui en remplit les fonctions. On comprend, en effet, que les barres composant les paquets ou servant de couvertures aux lopins, étant plates, ne peuvent se disposer convenablement qu'en bloc à assises horizontales. De plus, si on veut que les pièces ne se déforment pas dans les fours sous l'influence de la température, et puissent se retourner facilement et poser sur la sole, il convient qu'elles soient à faces planes. Les cylindres ébaucheurs sont donc destinés à *prendre* toujours des pièces à section carrée ou à section rectangulaire. Par ce motif, on les divise en deux catégories, savoir :

Les ébaucheurs dits *carrés*,
Les ébaucheurs dits *plats*.

Disons de suite que les ébaucheurs plats ne figurent qu'au gros mill pour plats de grandes dimensions et sont plutôt de la catégorie des *ébaucheurs spéciaux*, dont nous parlerons plus loin. Pour tous les plats ordinaires, les ébaucheurs carrés sont exclusivement employés.

Mais, si les ébaucheurs doivent toujours prendre des pièces à section carrée ou rectangulaire, il n'en est pas indispensablement de même des finisseurs qui, à part les échantillons *extra*, sont destinés à fabriquer des *plats*, des carrés et des ronds. Comme, en définitive, pourvu que la pièce soude au laminage, il n'est pas indispensable qu'elle soit un carré parfait, on donne aux cannelures des ébaucheurs carrés une section intermédiaire entre le *carré* et le *rond*, c'est-à-dire une section carrée dont les côtés sont arrondis (pl. 30, fig. 46). C'est ce qu'on nomme les *cannelures en ogive*. Ces cannelures ont le grand avantage de communiquer à la pièce une section qui entre facilement dans la première cannelure finisseuse *plate*, *carrée* ou *ronde*, et la *remplit*.

Le serrage ne pouvant être parfait pendant le laminage de la pièce dans les cannelures de l'ébaucheur qu'autant que la section de la cannelure est plus petite que celle de la pièce à serrer, les cylindres ébaucheurs servent non-seulement à achever le soudage des barres, mais encore à commencer l'étirage et à combler les vides qui existent toujours dans les lopins et paquets. De cette façon, non-seulement les pièces ébauchées arrivent saines au laminoir finisseur, mais encore la même paire de cylindres ébaucheurs peut servir à un laminage de différentes dimensions de pièces carrées. Ainsi nous avons dit (page 218) que les barres de fer brut ont pour largeurs 2e, 3e, 4e, 6e et servent à confectionner des paquets et lopins carrés ayant 2e, 3e, 4e, 5e, 6e, 7e, 8e, etc., de côté. Il convient, conséquemment, que ces paquets, sortant du four, trouvent une cannelure à l'ébaucheur qui les prenne. Si on voulait que la même paire de cylindres ébaucheurs prît toutes ces dimensions de paquets et les étirât suffisamment pour leur permettre d'entrer saines dans le finisseur, il faudrait donner à ces derniers une longueur considérable. Au lieu de cela, on préfère affecter une paire d'ébaucheurs à chaque train de laminoirs, et alors on donne à la première cannelure de ces ébaucheurs la dimension *maxima* que comportent les échantillons qu'on y fabrique.

Nous avons dit, tout à l'heure, que les cannelures ogives étaient des carrés à côtés arrondis; il n'en est pas tout à fait ainsi, par la raison que la pièce, en passant d'une cannelure dans une autre plus petite, ne manquerait pas de faire deux bavures aux angles de contact des cylindres, ce qu'il faut éviter à tout prix, attendu que les bavures s'aplatissent, mais ne soudent pas. Cependant, comme il faut opérer un étirage, il est absolument nécessaire que les cannelures subissent une décroissance. Voici alors comment on opère :

Soient AB, CD (fig. 46) une paire de cylindres ébaucheurs, *abcd* la première cannelure, et *efgh* la seconde.

Au lieu d'avoir $ac = bd$, comme quand la section est carrée, on fait :

Digitized by Google

$bd < ac$, c'est-à-dire un *losange*.

Pour la seconde cannelure, on fait :

$eg = bd$ de la première, et
$fh < eg$, et ainsi de suite.

D'où résulte que la diagonale verticale de chaque cannelure est égale à la diagonale horizontale de la cannelure suivante, et que l'étirage s'effectue presque entièrement sur la diagonale verticale, par cette raison que, à chaque cannelure, la barre fait un quart de tour et présente à la diagonale horizontale $eg$ une largeur $bd$ qui lui est égale, tandis qu'elle présente à la diagonale $fh$ une largeur $ac$ qui lui est de beaucoup supérieure.

Reste à savoir de combien on peut réduire les cannelures par cette méthode, sans presser sur les arêtes de contact des cylindres et ne pas faire de bavures ; c'est ce que nous allons indiquer en anciennes mesures, puisque, malheureusement, ce sont ces mesures qui dominent dans les forges :

| | Côté du losange. | Diagonale du carré. | Diagonale horizontale du losange. | Diagonale verticale du losange. |
|---|---|---|---|---|
| 1re cannelure. . . . . | 78 lignes. | 110 lignes. | 115 lignes. | 99 lignes. |
| 2e — . . . . . | 66 — | 91 — | 99 — | 86 — |
| 3e — . . . . . | 57 — | 81 — | 86 — | 73 — |
| 4e — . . . . . | 48 — | 68 — | 73 — | 63 — |
| 5e — . . . . . | 42 — | 59 — | 63 — | 55 — |
| 6e — . . . . . | 36 — | 51 — | 55 — | 51 — |
| 7e — . . . . . | 33 — | 47 — | 51 — | 46 — |
| 8e — . . . . . | 30 — | 42 — | 46 — | 42 — |
| 9e — . . . . . | 27 — | 38 — | 42 — | 38 — |
| 10e — . . . . . | 24 — | 34 — | 38 — | 33 — |
| 11e — . . . . . | 21 — | 30 — | 33 — | 29 — |
| 12e — . . . . . | 18 — | 26 — | 29 — | 24 — |
| 13e — . . . . . | 15 — | 21 — | 24 — | 20 — |
| 14e — . . . . . | 12 — | 17 — | 20 — | 17 — |
| 15e — . . . . . | 10 — | 14 — | 17 — | 16 — |
| 16e — . . . . . | 9 — | 13 — | 16 — | 14 — |
| 17e — . . . . . | 8 — | 11 — | 14 — | 12 — |
| 18e — . . . . . | 7 — | 10 — | 12 — | 9 — |
| 19e — . . . . . | 6 — | 8 — | 9 — | 7 — |
| 20e — . . . . . | 5 — | 7 — | 7 — | 7 — |

Si on compare entre elles les différentes sections qu'affecte la barre en passant successivement dans ces vingt cannelures, on trouve qu'elle subit, dans chacune d'elles, un étirage qui varie entre 1.10 et 1.25. Comme cette variation provient principalement de ce que les mesures sont données en nombres ronds, on peut n'y avoir pas égard et adopter, pour étirage moyen, entre deux cannelures successives, à l'ébaucheur, le nombre 1.15.

Ce nombre n'est pas rigoureux ; il varie nécessairement suivant la qualité du métal à serrer. Plus cette qualité est bonne à chaud, plus l'étirage doit être considérable ; ainsi, pour fers de fonte fine, on peut, sans inconvénient, le porter à 1.20 ; mais, pour fers de fonte au coke, il est suffisant à 1.10.

La disposition des cannelures ébaucheuses doit donc nécessairement varier suivant la nature du travail qu'elles sont appelées à effectuer. Quand on emploie toutes les qualités de fer, l'étirage

Digitized by Google

1.15 est, nous le répétons, le plus convenable, en ce sens qu'il est la moyenne des étirages que comportent les qualités extrêmes de métal.

Nous venons de donner les dimensions de vingt cannelures ébaucheuses ; il n'y a pas plus petit que 5 lignes, mais il peut y avoir plus grand que 78 lignes, soit 6 pouces 1/2, puisque, comme nous l'avons déjà dit, à Saint-Chamond, l'ébaucheur prend 35 à 40 centimètres. Laissant de côté ces dimensions *extra*, qui nécessitent un matériel spécial, nous allons indiquer comment se répartissent les vingt cannelures précitées entre le gros mill, le moyen mill et le petit mill.

En ce qui concerne le gros mill, on lui affecte deux ébaucheurs, savoir :

Un ébaucheur à 7 cannelures, comprenant les cannelures dont les côtés sont, en lignes,

78, 66, 57, 48, 42, 36, 33;

Un ébaucheur à 12 cannelures, comprenant les cannelures dont les côtés sont, en lignes,

57, 48, 42, 36, 33, 30, 27, 24, 21, 18, 15, 12.

Au moyen mill, on affecte un ébaucheur à 8 cannelures, comprenant les cannelures dont les côtés sont, en lignes,

42, 36, 33, 30, 27, 24, 21, 18.

Au petit mill, on affecte un seul ébaucheur à 12 cannelures, comprenant les cannelures dont les côtés sont, en lignes,

27, 24, 21, 18, 15, 12, 10, 9, 8, 7, 6, 5.

Quant aux longueurs des cylindres ébaucheurs, elles sont :

| | |
|---|---|
| Au gros mill. . . . . | 1m,50 |
| Au moyen mill. . . . . | variables. |
| Au petit mill. . . . . | 0m,65. |

Bien que le plan ne l'indique pas, parce qu'il est à une trop petite échelle, les arêtes de contact des cylindres sont non pas planes, mais arrondies par des demi-cercles dont le but est, en cas de refoulement horizontal du fer pendant son passage dans la cannelure, d'empêcher la formation de bavures minces, qui se refroidissent subitement, s'aplatissent à la passe suivante et ne soudent pas.

Quand les échantillons à fabriquer sont des plats dépassant 125 millimètres de large, les cannelures ogives deviennent insuffisantes, en ce sens qu'elles exigent, pour le finisseur, une première cannelure carrée de plus de 125 millimètres de côté. Dans ce cas, on préfère employer des ébaucheurs, dits *plats*, qui laminent les paquets, alternativement sur *plat* et sur *champ* ; le champ n'ayant d'autre but que de serrer le métal et l'empêcher de s'épater, le plat étant exclusivement chargé de l'étirage. De cette manière, la barre ébauchée peut entrer dans le finisseur avec une épaisseur beaucoup moindre que la largeur.

Pour les échantillons, tels que *bandages à rebords, fers à planchers, fers à* T, *rails, vitrages*, etc., il faut des ébaucheurs spéciaux. La fig. 47 représente les cannelures successives d'un ébaucheur pour bandage de chemins de fer. Dans ce cas, la pièce à laminer n'est plus un paquet, mais une barre qui, sous le marteau-pilon, a reçu la forme représentée par le trait *a* ; elle entre dans une première cannelure *b*, avec boudin en *dessus* ; de *b* elle passe dans une cannelure sur champ *c*, qui diminue sa largeur, de *c* elle passe dans une cannelure à plat, boudin en *dessous*, *d*, qui la rend propre à entrer dans le finisseur pour les bandages de locomotives à grande largeur. Si, au contraire, elle est destinée aux roues de waggons, une seconde cannelure sur champ *e* la refoule, et

Digitized by Google

diminue encore sa largeur ; de *e* elle passe dans une cannelure à plat *f*, boudin en dessous, qui la rend propre à entrer dans le finisseur.

Comme on le voit, par la figure, les largeurs des cannelures pour plats doivent toujours aller en augmentant, parce que l'étirage s'effectue toujours verticalement ; si la barre avait exactement la même largeur que la cannelure dans laquelle elle va entrer, le laminoir aurait de la peine à prendre la barre, et il y aurait refroidissement inutile de cette dernière.

En général, les cannelures plates croissent toujours en largeur, de 1 à 2 millimètres, quand elles sont successives, aussi bien dans les finisseurs que dans les ébaucheurs.

2° *De l'ébauchage au marteau.* — Comme nous l'avons dit (page 251), l'ébauchage au marteau n'est nécessaire que pour les pièces brutes dont les dimensions ne peuvent entrer dans la plus forte cannelure des ébaucheurs du gros mill. Quand cette cannelure prend au plus 7 pouces 1/2, c'est-à-dire les pièces brutes à section carrée ayant au plus 20 centimètres de côté, il convient de donner au moins une chaude au marteau à celles qui dépassent cette section. Aussi, dès que cet ébauchage est devenu indispensable, arrive-t-il le plus souvent que l'on force les dimensions de la pièce brute, pour augmenter l'étirage, et que tel échantillon qu'on aurait fabriqué, au laminoir seul, avec un paquet de 8ᵉ de côté, se trouve l'être, par l'intermédiaire du marteau, avec un paquet de 10 à 12ᵉ. C'est sutout pour les *bandages* de chemins de fer, fabriqués à l'ancienne méthode, c'est-à-dire droits, et pour les *grosses tôles*, qu'on profite du marteau pour augmenter l'étirage.

Ainsi, pour un bandage qui, fini, devra peser 80 kilogr. le mètre courant, on donne au paquet une section de 30 centimètres de large sur 35 centimètres de haut, froid, ce qui fait 0ᵐ.30 sur 0ᵐ.30, chaud.

Ce paquet, ayant pour longueur 0ᵐ.50, pèse 340 kilogr., soit 680 kilogr. le mètre ; il perd au feu, soit au four du marteau, soit au four du laminoir, 34 kilogr., et, en bouts écrus, environ autant ; ces 340 kilogr. bruts représentent donc, nets, 272 kilogr., pour 0ᵐ.50 et 544 kilogr. pour 1 mètre. Étiré à 80 kilogr. le mètre, cela représente un étirage de $\frac{544}{80} = 7$ environ.

Un moyen d'augmenter encore l'étirage, quand on ébauche au marteau, consiste à faire le paquet pour deux pièces, c'est-à-dire à une section beaucoup plus forte, soit pour deux bandages de 340 kilogr.

| | |
|---|---|
| Longueur. . . . . | 0ᵐ.60 |
| Largeur. . . . . | 0ᵐ.40 |
| Hauteur. . . . . | 0ᵐ.43 |

Puis, après la première ou la seconde chaude au marteau, à couper en deux et allonger encore chaque pièce isolément, si elle ne peut entrer dans la première cannelure de l'ébaucheur. On arrive ainsi à un étirage qui, dans le cas présent, représente :

| | | |
|---|---|---|
| 1° Avant l'étirage, pour 60 cent., déchet déduit. . . . . | 544 | kilogr. |
| pour 1 mètre. . . . . | 910 | — |
| 2° Après étirage, pour 1 mètre. . . . . | 80 | — |

dont l'étirage est $\frac{910}{80} = 11.4$

Il serait difficile, et surtout coûteux, de dépasser 12 pour l'étirage total, parce que non-seulement le soudage à cœur est d'autant plus difficile que le paquet est plus volumineux, mais encore parce que le nombre de chaudes au marteau augmente nécessairement.

Nous avons essayé de nous rendre compte du travail mécanique nécessaire à l'étirage du fer,

Digitized by Google

en mesurant le travail effectué par le marteau-pilon, pour l'ébauchage des paquets à bandages de chemins de fer. Quoique nous ne soyons arrivé à aucun résultat définitif, nos observations, réunies à celles faites ailleurs par d'autres personnes, peuvent être utilisées avantageusement; nous croyons devoir en consigner ici les principales.

Le marteau-pilon observé avait un poids de 2,000 kilogr. et une levée de 1 mètre; il produisait donc 2,000 kilogrammètres par coup, soit, à raison de cinquante coups par minute, une force motrice de :

$$\frac{50 \times 2000}{4500} = 22 \text{ chevaux.}$$

1° *Paquet de 680 kilos, longueur 60 centimètres.*

| | | |
|---|---|---|
| 1re chaude, durée du feu. . . . . | 2h.10′ | |
| Nombre de coups de marteau. . . . . | | 446 |
| Durée du martelage. . . . . | 10′ | |
| 2e chaude, durée du feu. . . . . | 1h.52′ | |
| Nombre de coups de marteau. . . . . | | 529 |
| Durée du martelage. . . . . | 13′ | |

On coupe en deux et on remet les deux morceaux dans le four.

Au bout d'une heure on retire le premier morceau, et le martèle :

| | | |
|---|---|---|
| Nombre de coups de marteau. . . . . | | 480 |
| Durée du martelage. . . . . | 11′ | |

Deux minutes après, on retire le deuxième morceau, et le martèle.

| | | |
|---|---|---|
| Nombre de coups de marteau. . . . . | | 488 |
| Durée du martelage. . . . . | 12′ | |
| Temps total employé. . . . . | 6h.00′ | |

Poids constaté :

| | |
|---|---|
| Premier bandage. . . . . | 310 kilogr. |
| Deuxième bandage. . . . . | 313 — |
| Total. . . . . | 623 kilogr. |
| Le poids brut était. . . . . | 680 — |
| Perte au feu. . . . . | 57 kilogr. |

soit une mise au four de 109 pour 100 étirés.

La longueur totale des deux bandages ébauchés est, à raison de 200 kilogr. le mètre courant, de 3m.115.

$$\text{L'étirage est de } \frac{3.115}{0.60} = 5.2. \text{ Net, } 5.$$

Pour 623 kilogr. étirés de 5, le nombre de coups de marteau est de :

| | |
|---|---|
| 1° . . . . . | 446 |
| 2° . . . . . | 529 |
| 3° . . . . . 480 + 488 = | 968 |
| Total. . . . . | 1,943 |

Digitized by Google

Net, 2,000 coups de marteau, soit, par 100 kilogr., 320 coups, ou :

$$320 \times 2{,}000 = 640{,}000 \text{ kilogrammètres.}$$

*2e Paquet de 340 kilogr., longueur 40 centimètres.*

| | |
|---|---|
| 1re chaude. . . . . | 350 coups. |
| 2e chaude. . . . . | 250 |
| Total. . . . . | 600 coups de marteau. |

2 chaudes au lieu de 3, pour réduire à 200 kilogr. le mètre courant comme précédemment, une longueur de 0m.40 pesant brute 340 kilogr., perte au feu déduite, 306 kilogr.

306 kilogr. pour 0m.40 font, pour 1 mètre, $\frac{306}{40} = 765$ kilogr.

L'étirage est donc $\frac{765}{200} = 3.82$, net 4.

Pour 306 kilogr. étirés de 4, le nombre de coups est de 600, soit, par 100 kilogr., $\frac{600}{3{,}06}$ = 196 coups, net 200 coups, ou :

$$200 \times 2{,}000 = 400{,}000 \text{ kilogrammètres.}$$

*3e Paquet de 575 kilogr., longueur 50 centimètres.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1re chaude. . . . . | 350 coups, dont | 40 | à refouler. |
| 2e *id.* . . . . . | 450 | — | — |
| 3e *id.* . . . . . | 400 | — | — |
| 4e *id.* . . . . . | 450 | — | — |
| Total. . . . . | 1,650 coups. | | |

Poids martelé, 508 kilogr., ou 114 brut pour 100 martelé, à 200 kilogr. le mètre courant.
508 kilogr. pour 0m.50 font, pour 1 mètre, 1,016 kilogr.

L'étirage est donc $\frac{1{,}016}{200} = 5$ net.

Pour 508 kilogr. étirés de 5, le nombre de coups est 1,650, soit, pour 100 kilogr., $\frac{1{,}650}{5.08} = 325$ ou :

$$325 \times 2{,}000 = 650{,}000 \text{ kilogrammètres.}$$

Nous avons trouvé plus haut, pour le même étirage, 640,000 kilogrammètres; ces chiffres se rapprochent.

*4e Paquet de 642 kilogr., longueur 61 centimètres, et, comme renseignement, largeur 41 centimètres, hauteur 40 centimètres.*

| | |
|---|---|
| 1re chaude. . . . . | 423 coups. |
| 2e — . . . . . | 376 — |
| 3e — . . . . . | 450 — |
| 4e — . . . . . | 404 — |
| 5e — . . . . . | 636 — |
| Total. . . . . | 2,289 coups. |



Digitized by Google

Poids martelé, 573 kilogr., ou 112 brut pour 100 martelé, à 200 kilogr. le mètre courant.
573 kilogr. pour 0m.61 font, pour 1 mètre, 940 kilogr.

L'étirage est donc $\frac{940}{200} = 4.70$.

Pour 573 kilogr. étirés de 4.70, le nombre de coups est 2,289, soit, pour 100 kilogr., $\frac{2,289}{5.73} = 397$ coups, ou :

$$397 \times 2,000 = 794,000 \text{ kilogrammètres.}$$

Ici, bien que l'étirage soit inférieur à 5, le travail dépensé est de 1/3 environ plus considérable.

*5e Paquet de 340 kilogr., longueur 55 centimètres, largeur 27 centimètres, hauteur 31 centimètres.*

3 chaudes. . . . . 800 coups.

Poids martelé, 302 kilogr., ou 112 brut pour 100 martelé, à 200 kilogr. le mètre courant.
340 kilogr., pour 0m,55, font, pour 1 mètre, 620 kilogr.

L'étirage est donc $\frac{620}{200} = 3.1$.

Pour 302 kilogr., étirés de 3.1, le nombre de coups est 800, soit, pour 100 kilogr., $\frac{800}{3.02} = 265$ coups, ou :

$$265 \times 2,000 = 530,000 \text{ kilogrammètres.}$$

*6e Paquet de 570 kilogr., longueur 65 centimètres.*

| | |
|---|---|
| Nombre de chaudes. . . . . | 4 |
| Nombre de coups. . . . . | 2,000 |
| Longueur de la barre martelée. . . . . | 3m.25 |
| Poids — . . . . . | 500 kilogr. |
| Étirage. . . . . | 5 |

Pour 500 kilogr. étirés de 5, le nombre de coups est 2,000, soit, pour 100 kilogr., $\frac{2,000}{5} = 400$ coups, ou :

$$400 \times 2,000 = 800,000 \text{ kilogrammètres.}$$

Digitized by Google

*7e Paquets de 340 kilogrammes, longueur 0m.55.*

| | NOMBRE DE COUPS. | LONGUEURS. | ÉTIRAGES | |
|---|---|---|---|---|
| | | | SUCCESSIFS. | TOTAUX. |
| Paquet | » | 0m,55 | » | » |
| 1re chaude | 178 | 0m,85 | 1.54 | » |
| 2e chaude | 228 | 1m,35 | 1.59 | 2.45 |
| 3e chaude | 131 | 1m,52 | 1.13 | 2.75 |
| TOTAL | 537 | | | |

Poids de la barre étirée, 300 kilogr.

Pour 300 kilogr. étirés de 2,75, le nombre de coups est 537, soit, pour 100 kilogr., $\frac{537}{3} = 179$ coups, ou :

$$179 \times 2{,}000 = 358{,}000 \text{ kilogrammètres.}$$

*8e Un autre analogue.*

| | NOMBRE DE COUPS. | LONGUEURS. | ÉTIRAGES | |
|---|---|---|---|---|
| | | | SUCCESSIFS. | TOTAUX. |
| Paquet | » | 0m,50 | » | » |
| 1re chaude | 311 | 0m,75 | 1.50 | » |
| 2e chaude | 278 | 1m,10 | 1.47 | 2.2 |
| 3e chaude | 265 | 1m,40 | 1.27 | 2.8 |
| TOTAL | 854 | | | |

Pour 300 kilogr. étirés de 2.80, le nombre de coups est 854, soit, pour 100 kilogr., $\frac{854}{3} = 283$ coups, ou :

$$283 \times 2{,}000 = 566{,}000 \text{ kilogrammètres ;}$$

ce qui, d'après les précédents, est évidemment trop.

*9e Paquet de 674 kilogr. donnant, après étirage de 5, 530 kilogr., soit 127.5 brut pour 100 ébauché.*

Nombre de coups . . . . . 2,300

5 chaudes en 6 heures.

Digitized by Google

Pour 530 kilogr. étirés de 5, le nombre de coups est 2,300, soit, pour 100 kilogr., $\frac{2,300}{5.30} = 435$ coups, ou :

$$435 \times 2,000 = 870,000 \text{ kilogrammètres.}$$

*10e Moyenne sur cinq paquets de 340 kilogr., pesant, après étirage, 305 kilogr., et étirés à 2.75.*

| | | |
|---|---|---|
| 1re | chaude. . . . . | 242 coups. |
| 2e | *id.* . . . . . | 104 — |
| 3e | *id.* . . . . . | 118 — |
| | Total. . . . . | 464 coups. |

Pour 305 kilogr. étirés de 2.75, le nombre de coups est 464, soit, pour 100 kilogr., $\frac{464}{3.05} = 152$ coups, ou :

$$152 \times 2,000 = 304,000 \text{ kilogrammètres.}$$

*Récapitulation.*

Résumant en un tableau les résultats consignés ci-dessus, nous obtenons :

*Tableau des quantités de travail correspondant à divers étirages, par 100 kilogrammes de fer, de la qualité C (voir tableau de la page 228), en paquets de 300 à 700 kilogrammes.*

| Nos d'ordre. | POIDS du paquet. | POIDS de la barre ébauchée. | FER BRUT par 100 kilogr. de fer ébauché. | COEFFICIENT de l'étirage. | NOMBRE de coups de marteau par 100 kilogr. | NOMBRE de kilogrammètres dépensés par 100 kilogr. | NOMBRE de chaudes. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 340 | 300 | 113 | 2.75 | 179 | 358,000 | 3 |
| 2 | 340 | 300 | 113 | 2.75 | 283 | 566,000 | 3 |
| 3 | 340 | 305 | 111 | 2.75 | 152 | 304,000 | 3 |
| 4 | 340 | 302 | 112 | 3.10 | 265 | 530,000 | 3 |
| 5 | 340 | 306 | 111 | 4.00 | 200 | 400,000 | 2 |
| 6 | 642 | 573 | 112 | 4.70 | 397 | 794,000 | 5 |
| 7 | 680 | 623 | 109 | 5.00 | 320 | 640,000 | 3 |
| 8 | 575 | 508 | 114 | 5.00 | 325 | 650,000 | 4 |
| 9 | 570 | 500 | 114 | 5.00 | 400 | 800,000 | 4 |
| 10 | 674 | 530 | 127.5 | 5.00 | 435 | 870,000 | 5 |

Si nous extrayons de ce tableau l'étirage de 5, qui est le plus concluant, nous voyons que, par 100 kilogr., il exige :

Digitized by Google

| | | |
|---|---|---|
| 1°. . . . . | 320 | coups de marteau. |
| 2°. . . . . | 325 | — |
| 3°. . . . . | 400 | — |
| 4°. . . . . | 435 | — |
| Moyenne. . . . . | 370 | coups de marteau. |

Nous voyons, en outre, que le nombre des coups de marteau augmente avec les chaudes, ce qui devrait être l'opposé, puisque plus on chauffe, plus le fer est malléable.

Si, faute de mieux, on accepte le chiffre de 370, cela fait, en kilogrammètres,

740,000.

Si nous observons enfin que, pour les autres étirages, nous avons :

| Etirage. | Kilogrammètres. |
|---|---|
| 4. . . . . | 400,000 |
| 3.10. . . . . | 530,000 |
| 2.75. . . . . | 358,000 |
| 2.75. . . . . | 566,000 |
| 2.75. . . . . | 304,000 |

On peut supposer que chaque allongement de 1, par rapport à la longueur primitive, dépense environ 150,000 kilogrammètres par 100 kilogr., ce qui donne :

| | | | Kilogrammètres. |
|---|---|---|---|
| Le paquet de 100 kilos ayant une longueur 1. | Pour barre de 100 kilos ayant une longueur | 2. . . | 150,000 |
| | — | 3. . . | 300,000 |
| | — | 4. . . | 450,000 |
| | — | 5. . . | 600,000 |
| | — | 6. . . | 750,000 |
| | — | 7. . . | 900,000 |
| | — | 8. . . | 1,050,000 |
| | — | 9. . . | 1,200,000 |
| | — | 10. . . | 1,350,000 |

Si cela est vrai, une usine qui fait, par jour, 40,000 kilogr. de fers divers et étire, en moyenne, de 10, depuis le fer brut jusqu'au fer fini, consommerait par jour, $400 \times 1{,}350{,}000 = 540{,}000{,}000$ de kilogrammètres par 20 heures de travail effectif, soit : 27,000,000 de kilogrammètres par heure ou 450,000 kilogrammètres par minute, qui donnent, en chevaux :

$$\frac{450{,}000}{4{,}500} = 100 \text{ chevaux.}$$

Il est vrai qu'une usine, du genre de celle dont nous venons de parler, exige, tant pour le fer que pour la tôle, une force motrice nominale de 250 à 300 chevaux ; mais cette force motrice est loin de travailler constamment et régulièrement; les chiffres que nous avons donnés plus haut pourraient donc bien n'être pas très-éloignés de la vérité. Du reste, nous le répétons, nous avons, principalement, pour but, en signalant les expériences relatées plus haut, de donner un renseignement et non de tirer une conclusion.

### § 2. Du finissage.

Nous avons dit que, dans les cylindres ébaucheurs, l'étirage devait varier entre 1.10 et 1.20 par cannelure, suivant la qualité du fer; ce qui, pour laminoirs étirant toute espèce de fer, représente

Digitized by Google

un étirage moyen de 1.15. Dans les cylindres finisseurs, l'étirage peut être plus considérable, surtout dans les dernières cannelures; il est, en moyenne, de 1.30, mais atteint quelquefois jusqu'à 2, surtout quand les échantillons sont minces et, par conséquent, susceptibles de se refroidir très-vite. Dans ce dernier cas, si les échantillons sont plats, ils constituent ce qu'on appelle les *feuillards, rubans, cercles;* on les finit dans un cylindre spécial, qui porte le nom de *spatard* ou *polisseur*, et ne porte pas de cannelures. C'est une espèce de laminoir à tôle, très-étroit et très-poli, d'une énergie extrême, qui écrase les barres et arrondit les arêtes. Ce mode de finissage, par le fait que le fer n'est pas retenu sur les côtés, exige une meilleure qualité à chaud que le laminage dans les cannelures, parce que le métal, en s'épatant sur les bords, tend à criquer.

Une des précautions qu'il importe de prendre, dans la préparation des cylindres de laminoirs, consiste à donner au cylindre de dessus un diamètre toujours supérieur à celui de dessous, parce que, quand les diamètres sont égaux, la barre tend à remonter, et, si on ne l'arrête pas à temps, elle s'enroule sur le cylindre de dessus et forme ce qu'on appelle un *cordon*, dont l'effet est de casser le cylindre par l'accumulation des couches de fer dans la même cannelure. Cela tient à ce que la force motrice arrivant par l'axe du cylindre inférieur et les dents d'engrenage, qui communiquent le mouvement au cylindre supérieur, ayant entre elles un certain jeu, le départ des deux cylindres ne s'effectue pas en même temps, et la barre, à peine engagée, tend à se relever; si alors le cylindre supérieur rattrape, par un plus grand diamètre, le chemin parcouru en trop par le cylindre inférieur, la barre se redresse horizontalement et finit même par s'abaisser en sens contraire et raser le sol; ce qui est sans inconvénient, parce que les rattrapeurs s'en emparent immédiatement.

Quand il s'agit d'échantillons *ronds* ou *carrés*, les cannelures de dessus et de dessous sont identiques; les diamètres des cylindres sont seuls différents. Quand il s'agit de plats, au contraire, on distingue les cannelures en :

Cannelures mâles et cannelures femelles.

Les cannelures *femelles* sont toujours dans le cylindre de dessous et se composent de trois faces, une horizontale et deux verticales; la fonte servant à séparer les cannelures contiguës porte le nom de *cordon* et a une épaisseur qui varie suivant sa hauteur et la résistance à la flexion qu'elle doit présenter, quand la barre passe. Les cannelures *mâles* sont toujours dans le cylindre de dessus et n'ont qu'une face horizontale travaillant; elles s'emboîtent dans les cannelures femelles d'une quantité suffisante pour que, en rapprochant ou en éloignant les cylindres, on puisse finir, dans la dernière cannelure, à plusieurs épaisseurs. Dans ce cas, les diamètres de contact sont, pour le cylindre inférieur, le diamètre extérieur des cordons pleins et, pour le cylindre supérieur, le diamètre intérieur des cordons creux. Ces deux diamètres sont différents, et celui du cylindre de dessous est de beaucoup supérieur à celui du cylindre de dessus; cela n'empêche pas que le diamètre de la cannelure travaillant dans le cylindre de dessus est toujours supérieur à celui de la cannelure correspondante dans le cylindre de dessous, parce que, chez le premier, la cannelure est en saillie, tandis que, chez le second, elle est en creux.

Soit, par exemple, une paire de cylindres plats de 5 cannelures, le dessous ayant 0m.535 de diamètre extérieur, le dessus ayant 0m.385 de diamètre intérieur, on a :

| | Cylindre de dessous. Creux. | Cylindre de dessus. Saillie. |
|---|---|---|
| 1re cannelure. . . . . | 92 millim. | 20 millim. |
| 2e. . . . . | 71 | 32 — |
| 3e. . . . . | 57 | 37 — |
| 4e. . . . . | 46 | 37 — |
| 5e. . . . . | 45 | 42 — |

Digitized by Google

Ce qui donne pour diamètres des parties travaillantes :

| | Cylindre de dessus. m. | Cylindre de dessous. m. | Différences. |
|---|---|---|---|
| 1re cannelure. . . . . | 0.351 | 0.425 | 74 millim. |
| 2e. . . . . | 0.393 | 0.449 | 56 — |
| 3e. . . . . | 0.421 | 0.459 | 38 — |
| 4e. . . . . | 0.443 | 0.459 | 16 — |
| 5e. . . . . | 0.445 | 0.469 | 24 — |

Comme on le voit, les différences entre les diamètres travaillant ensemble sont assez considérables. Souvent, au lieu de donner aux cannelures du cylindre de dessus des saillies différentes, qui les exposent à se détériorer quand on les manœuvre, on préfère leur donner un seul et même diamètre extérieur; dans ce cas, la décroissance des cannelures s'effectue tout entière dans le cylindre inférieur.

Ainsi, par exemple, on trouve des paires de cylindres présentant les dimensions suivantes :

Cylindre de dessus, diamètre uniforme des cannelures mâles :

0m.45.

Cylindre de dessous, diamètres croissants des cannelures femelles :

0m.330, 0m.345, 0m.395, 0m.420, 0m.435, 0m.442.

Dans ce cas, il y a une différence très-grande entre les diamètres de la première cannelure, et la barre doit, nécessairement, plonger en sortant du laminoir.

En voici deux autres :

1° Cylindre de dessus, diamètre uniforme :

0m.435.

Cylindre de dessous, diamètres intérieurs des cannelures croissants :

0m.405, 0m.408, 0m.415, 0m.420, 0m.430.

2° Cylindre de dessus, diamètre uniforme :

0m.475.

Cylindre de dessous, diamètres intérieurs des cannelures croissants :

0m.340, 0m.380, 0m.400, 0m.420.

Inutile d'ajouter que, dans ce cas, les diamètres des cordons sont uniformes dans les deux cylindres, mais différents pour chacun d'eux.

Nous pourrions multiplier ces exemples à l'infini, mais c'est inutile. Ce qu'il importe le plus de connaître, pour la fabrication du fer en barres, qui n'exige de qualité qu'à *froid*, c'est :

1° La nature du métal qu'il convient d'employer pour réussir au laminoir, et cependant ne pas faire trop bon;

2° La forme et les dimensions de la pièce brute, nécessaires pour que l'étirage soit suffisant.

En ce qui concerne la qualité du métal, il faut, autant que possible, n'employer que du fer de fonte au coke, avec ou sans couverture, suivant les dimensions de l'échantillon, celles de la pièce brute, la résistance du métal au feu du four et l'étirage que permet le laminoir. Ces diverses considérations suffisent pour démontrer que la composition des pièces brutes varie beaucoup, suivant la nature du fer dont on dispose ; car il est tel fer de fonte au coke qui se comporte presque comme le fer de fonte de Champagne, tandis que tel autre crique avec la plus grande facilité.

Digitized by Google

Quant à la forme et aux dimensions de la pièce brute, il est évident, également, qu'elles dépendent des mêmes circonstances; cependant il est des principes généraux dont il convient de se rapprocher autant que possible, en donnant, par des mélanges, au fer brut, la qualité qui est indispensable pour que la fabrication marche régulièrement.

Le tableau suivant a été précisément composé en vue de régler la fabrication du fer marchand et permettre d'apprécier si le fer employé est de qualité convenable. On remarquera que, dans ce tableau, une même section de pièce brute sert à la fabrication d'un nombre plus ou moins grand d'échantillons différents; d'où résulte que l'étirage total subi par la pièce brute, pour devenir échantillon fini, est très-variable ; on en conclura nécessairement que l'étirage n'est pas ici, comme dans la filature du coton, un nombre fixe, dépendant de la finesse de l'échantillon fabriqué. C'est qu'en effet, quand le fer n'est pas spécialement vendu pour résister à un effort de traction déterminé, comme les *ronds à câbles* par exemple, le maître de forges ne recherche qu'une chose : livrer un échantillon d'apparence irréprochable. C'est pourquoi, lorsqu'il s'est agi de construire des ponts suspendus sur des câbles en fer, on a parfaitement fait de choisir les fils de fer de préférence au fer étiré en barres, parce que le fil de fer non-seulement rompt à l'étirage quand il y a une paille, mais encore il provient tout entier, pour un diamètre donné, d'une même dimension de pièce brute considérablement étirée au laminoir et à la filière.

Mais, qu'un maître de forges soumissionne un échantillon de fer, devant résister, à froid, à une charge déterminée, sans qualité à chaud, comme son intérêt est d'employer exclusivement la fonte au coke pure ou le moins mélangée possible de fonte au bois, immédiatement il adopte l'étirage maximum que comporte l'échantillon, dût-il, souvent, le faire laminer à chaude et demie, c'est-à-dire le faire retourner au four entre l'ébauchage et le finissage.

Ce tableau n'est donc pas la loi proprement dite de l'étirage, mais l'indication de ce qui réussit dans les circonstances ordinaires.

Digitized by Google

*Tableaux des formes et dimensions des pièces de fer brut qu'il convient d'employer pour la fabrication des fers marchands.*

## 1° Ronds et carrés.

| DIAMÈTRE OU COTÉ | | LONGUEURS MOYENNES des BARRES AFFRANCHIES. | PIÈCE BRUTE. | |
|---|---|---|---|---|
| EN LIGNES. | EN MILLIMÈTRES. | | FORME. | DIMENSIONS. |
| 2.5 | 6 | 4m.25 | Blette. | De 27 à 30 millimètres de côté. |
| 3.0 | 7 | id. | id. | id. |
| 3.5 | 8 | id. | id. | id. |
| 4.0 | 9 | id. | id. | De 34 à 40 millimètres de côté. |
| 4.5 | 10 | id. | id. | id. |
| 5.0 | 11 | id. | id. | id. |
| 5.5 | 12 | id. | id. | id. |
| 6.0 | 14 | id. | id. | id. |
| 6.5 | 15 | id. | id. | id. |
| 7.0 | 16 | id. | id. | id. |
| 7.5 | 17 | id. | id. | id. |
| 8.0 | 18 | id. | id. | id. |
| 9.0 | 20 | 4m.50 | Paquet (1). | De 81 millimètres sur 58 de côté. |
| 10.0 | 23 | id. | id. | id. |
| 11.0 | 25 | id. | id. | De 81 millimètres sur 81 de côté. |
| 12.0 | 27 | id. | id. | id. |
| 13.0 | 29 | id. | id. | id. |
| 14.0 | 32 | id. | id. | De 108 millimètres sur 108 de côté. |
| 15.0 | 34 | id. | id. | id. |
| 16.0 | 36 | id. | id. | id. |
| 17.0 | 38 | id. | id. | id. |
| 18.0 | 40 | id. | id. | De 135 millimètres sur 135 de côté. |
| 19.0 | 43 | id. | id. | id. |
| 20.0 | 45 | id. | id. | id. |
| 21.0 | 47 | id. | id. | id. |
| 22.0 | 50 | id. | id. | id. |
| 23.0 | 52 | id. | id. | id. |
| 24.0 | 54 | id. | id. | id. |
| 25.0 | 56 | id. | id. | id. |
| 26.0 | 58 | id. | id. | id. |
| 27.0 | 60 | id. | id. | id. |
| 28.0 | 63 | id. | id. | id. |
| 29.0 | 65 | id. | id. | id. |
| 30.0 | 68 | id. | id. | De 162 millimètres sur 162 de côté. |
| 31.0 | 70 | id. | id. | id. |
| 32.0 | 72 | id. | id. | id. |
| 33.0 | 75 | id. | id. | id. |
| 36.0 | 81 | id. | id. | id. |
| 39.0 | 88 | id. | id. | De 189 millimètres sur 189 de côté. |
| 42.0 | 95 | id. | id. | id. |
| 45.0 | 100 | id. | id. | id. |
| 48.0 | 108 | id. | id. | id. |
| 51 0 | 115 | 4m.00 | id. | id. |
| 54.0 | 122 | id. | id. | De 216 millimètres sur 216 de côté. |
| 57.0 | 128 | id. | id. | id. |
| 60.0 | 135 | id. | id. | id. |

(1) Ou lopin, suivant les circonstances.



Digitized by Google

**2° Plats.**

| DIMENSIONS EN LIGNES. | | DIMENSIONS EN MILLIMÈTRES. | | LONGUEURS MOYENNES des BARRES AFFRANCHIES. | PIÈCE BRUTE. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Largeur. | Épaisseur. | Largeur. | Épaisseur. | | FORME. | DIMENSIONS. |
| | | | | mètres. | | |
| 6 | 2.0 | 14 | 4.5 | 4.40 | Blette. | De 25 à 30 millimètres de côté. |
| 6 | 2.5 | 14 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 6 | 3.0 | 14 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 6 | 3.5 | 14 | 8.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 6 | 4.0 | 14 | 9.0 | 4.70 | *id.* | *id.* |
| 7 | 2.0 | 16 | 4.5 | 4.40 | *id.* | *id.* |
| 7 | 2.5 | 16 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 7 | 3.0 | 16 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 7 | 3.5 | 16 | 8.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 7 | 4.0 | 16 | 9.0 | 4.70 | *id.* | *id.* |
| 7 | 5.0 | 16 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 8 | 2.0 | 18 | 4.5 | 4.40 | *id.* | *id.* |
| 8 | 2.5 | 18 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 8 | 3.0 | 18 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 8 | 4.0 | 18 | 9.0 | 4.70 | *id.* | *id.* |
| 8 | 5.0 | 18 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 9 | 2.0 | 20 | 4.5 | 4.40 | *id.* | De 34 à 45 millimètres de côté. |
| 9 | 2.5 | 20 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 9 | 3.0 | 20 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 9 | 4.0 | 20 | 9.0 | 4.70 | *id.* | *id.* |
| 9 | 5.0 | 20 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 9 | 6.0 | 20 | 14.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 10 | 2.0 | 23 | 4.5 | 4.40 | *id.* | *id.* |
| 10 | 2.5 | 23 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 10 | 3.0 | 23 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 10 | 4.0 | 23 | 9.0 | 4.70 | *id.* | *id.* |
| 10 | 5.0 | 23 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 10 | 6.0 | 23 | 14.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 11 | 2.0 | 25 | 4.5 | 4.40 | *id.* | *id.* |
| 11 | 2.5 | 25 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 11 | 3.0 | 25 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 11 | 4.0 | 25 | 9.0 | 4.70 | *id.* | *id.* |
| 11 | 5.0 | 25 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 11 | 6.0 | 25 | 14.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 11 | 7.0 | 25 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 12 | 2.0 | 27 | 4.5 | 4.40 | *id.* | *id.* |
| 12 | 2.5 | 27 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 12 | 3.0 | 27 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 12 | 4.0 | 27 | 9.0 | 4.70 | Paquet. | De 81 sur 58 millimètres de côté. |
| 12 | 5.0 | 27 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 12 | 6.0 | 27 | 14.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 12 | 7.0 | 27 | 16.0 | *id.* | *id.* | De 81 sur 81 millimètres de côté. |
| 12 | 8.0 | 27 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 12 | 9.0 | 27 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 13 | 2.0 | 29 | 4.5 | 4.40 | Blette. | De 34 à 45 millimètres de côté. |
| 13 | 2.5 | 29 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 13 | 3.0 | 29 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 13 | 4.0 | 29 | 9.0 | 4.70 | Paquet. | De 81 sur 58 millimètres de côté. |
| 13 | 5.0 | 29 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 13 | 6.0 | 29 | 14.0 | *id.* | *id.* | De 81 sur 81 millimètres de côté. |
| 13 | 7.0 | 29 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 13 | 8.0 | 29 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 13 | 9.0 | 29 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 14 | 2.0 | 32 | 4.5 | 4.40 | Blette. | De 34 à 45 millimètres de côté. |
| 14 | 2.5 | 32 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 14 | 3.0 | 32 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 14 | 4.0 | 32 | 9.0 | 4.70 | Paquet. | De 81 sur 58 millimètres de côté. |
| 14 | 5.0 | 32 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |

Digitized by Google

**Plats.**

| DIMENSIONS EN LIGNES. | | DIMENSIONS EN MILLIMÈTRES. | | LONGUEURS MOYENNES des BARRES ASSEMBLÉES. | PIÈCE BRUTE. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Largeur. | Épaisseur. | Largeur. | Épaisseur. | | FORME. | DIMENSIONS. |
| | | | | mètres. | | |
| 14 | 6.0 | 32 | 14.0 | 4.70 | Paquet. | De 81 sur 81 millimètres de côté. |
| 14 | 7.0 | 32 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 14 | 8.0 | 32 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 14 | 9.0 | 32 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 14 | 10.0 | 32 | 23.0 | *id* | *id.* | *id.* |
| 15 | 2.0 | 34 | 4.5 | 4.40 | Blette. | De 34 à 45 millimètres de côté. |
| 15 | 2.5 | 34 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 15 | 3.0 | 34 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 15 | 4.0 | 34 | 9.0 | 4.70 | Paquet. | De 81 sur 58 millimètres de côté. |
| 15 | 5.0 | 34 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 15 | 6.0 | 34 | 14.0 | *id.* | *id.* | De 81 sur 81 millimètres de côté. |
| 15 | 7.0 | 34 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 15 | 8.0 | 34 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 15 | 9.0 | 34 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 15 | 10.0 | 34 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 15 | 11.0 | 34 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 15 | 12.0 | 34 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 16 | 2.0 | 36 | 4.5 | 4.40 | Blette. | De 34 à 45 millimètres de côté. |
| 16 | 2.5 | 36 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 16 | 3.0 | 36 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 16 | 4.0 | 36 | 9.0 | 4.70 | Paquet. | De 81 sur 58 millimètres de côté. |
| 16 | 5.0 | 36 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 16 | 6.0 | 36 | 14.0 | *id.* | *id.* | De 81 sur 81 millimètres de côté. |
| 16 | 7.0 | 36 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 16 | 8.0 | 36 | 18 0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 16 | 9.0 | 36 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 16 | 10.0 | 36 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 16 | 11 0 | 36 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 16 | 12.0 | 36 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 17 | 2.0 | 38 | 4 5 | 4.40 | Blette. | De 45 à 50 millimètres de côté. |
| 17 | 2.5 | 38 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 17 | 3.0 | 38 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 17 | 4.0 | 38 | 9.0 | 4.70 | Paquet. | De 81 sur 58 millimètres de côté. |
| 17 | 5.0 | 38 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 17 | 6.0 | 38 | 14 0 | *id.* | *id.* | De 81 sur 81 millimètres de côté. |
| 17 | 7.0 | 38 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 17 | 8.0 | 38 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 17 | 9.0 | 38 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 17 | 10.0 | 38 | 23.0 | *id.* | *id.* | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 17 | 11.0 | 38 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 17 | 12.0 | 38 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 17 | 13 0 | 38 | 29 0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 17 | 14.0 | 38 | 32 0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 18 | 2.0 | 40 | 4 5 | 4.40 | Blette. | De 45 à 50 millimètres de côté. |
| 18 | 2.5 | 40 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 18 | 3.0 | 40 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 18 | 4.0 | 40 | 9.0 | 4.70 | Paquet. | De 81 sur 58 millimètres de côté. |
| 18 | 5.0 | 40 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 18 | 6.0 | 40 | 14.0 | *id.* | *id.* | De 81 sur 81 millimètres de côté. |
| 18 | 7.0 | 40 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 18 | 8 0 | 40 | 18.0 | *id.* | *id.* | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 18 | 9.0 | 40 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 18 | 10.0 | 40 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 18 | 11.0 | 40 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 18 | 12.0 | 40 | 27 0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 18 | 13 0 | 40 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 18 | 14.0 | 40 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 18 | 15.0 | 40 | 34 0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 19 | 2.0 | 43 | 4.5 | 4.40 | Blette. | De 45 à 50 millimètres de côté. |
| 19 | 2.5 | 43 | 6 0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 19 | 3.0 | 43 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |

Digitized by Google

**Plats.**

| DIMENSIONS EN LIGNES. | | DIMENSIONS EN MILLIMÈTRES. | | LONGUEURS MOYENNES des BARRES AFFRANCHIES. | PIÈCE BRUTE. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Largeur. | Épaisseur. | Largeur. | Épaisseur. | | FORME. | DIMENSIONS. |
| | | | | mètres. | | |
| 19 | 4.0 | 43 | 9.0 | 4.70 | Paquet. | De 81 sur 58 millimètres de côté. |
| 19 | 5.0 | 43 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 19 | 6.0 | 43 | 14.0 | *id.* | *id.* | De 81 sur 81 millimètres de côté. |
| 19 | 7.0 | 43 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 19 | 8.0 | 43 | 18.0 | *id.* | *id.* | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 19 | 9.0 | 43 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 19 | 10.0 | 43 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 19 | 11.0 | 43 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 19 | 12.0 | 43 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 19 | 13.0 | 43 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 19 | 14.0 | 43 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 19 | 15.0 | 43 | 34.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 20 | 2.0 | 45 | 4.5 | 4.40 | *id.* | *id.* |
| 20 | 2.5 | 45 | 6.0 | *id.* | *id.* | De 54 sur 54 millimètres de côté. |
| 20 | 3.0 | 45 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 20 | 4.0 | 45 | 9.0 | 5.00 | *id.* | *id.* |
| 20 | 5.0 | 45 | 11.0 | *id.* | *id.* | De 81 sur 58 millimètres de côté. |
| 20 | 6.0 | 45 | 14.0 | *id.* | *id.* | De 81 sur 81 millimètres de côté. |
| 20 | 7.0 | 45 | 16.0 | *id.* | *id.* | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 21 | 2.0 | 47 | 4.5 | 4.40 | *id.* | De 54 sur 54 millimètres de côté. |
| 21 | 2.5 | 47 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 21 | 3.0 | 47 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 21 | 4.0 | 47 | 9.0 | 5.00 | *id.* | De 81 sur 58 millimètres de côté. |
| 21 | 5.0 | 47 | 11.0 | *id.* | *id.* | De 81 sur 81 millimètres de côté. |
| 21 | 6.0 | 47 | 14.0 | *id.* | *id.* | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 21 | 7.0 | 47 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 21 | 8.0 | 47 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 21 | 9.0 | 47 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 21 | 10.0 | 47 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 21 | 11.0 | 47 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 21 | 12.0 | 47 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 21 | 13.0 | 47 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 21 | 14.0 | 47 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 21 | 15.0 | 47 | 34.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 22 | 2.0 | 50 | 4.5 | 4.40 | *id.* | De 54 sur 54 millimètres de côté. |
| 22 | 3.0 | 50 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 22 | 4.0 | 50 | 9.0 | 5.00 | *id.* | *id.* |
| 22 | 5.0 | 50 | 11.0 | *id.* | *id.* | De 81 sur 81 millimètres de côté. |
| 22 | 6.0 | 50 | 14.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 22 | 7.0 | 50 | 16.0 | *id.* | *id.* | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 22 | 8.0 | 50 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 22 | 9.0 | 50 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 22 | 10.0 | 50 | 23 0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 22 | 11.0 | 50 | 25.0 | *id.* | *id.* | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 22 | 12.0 | 50 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 22 | 13.0 | 50 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 22 | 14.0 | 50 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 22 | 15.0 | 50 | 34.0 | *id.* | *id.* | De 81 sur 58 millimètres de côté. |
| 23 | 2.0 | 52 | 4.5 | 4.40 | *id.* | *id.* |
| 23 | 2.5 | 52 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 23 | 3.0 | 52 | 7.0 | *id.* | *id.* | De 81 sur 81 millimètres de côté. |
| 23 | 4.0 | 52 | 9.0 | 5.00 | *id.* | *id.* |
| 23 | 5.0 | 52 | 11.0 | *id.* | *id.* | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 23 | 6.0 | 52 | 14.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 23 | 7.0 | 52 | 16.0 | *id.* | *id.* | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 23 | 8.0 | 52 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 23 | 9.0 | 52 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 23 | 10.0 | 52 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 23 | 11.0 | 52 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 23 | 12.0 | 52 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 23 | 13.0 | 52 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* |

Digitized by Google

**Plats.**

| DIMENSIONS EN LIGNES. | | DIMENSIONS EN MILLIMÈTRES. | | LONGUEURS MOYENNES des BARRES AFFRANCHIES. | PIÈCE BRUTE. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Largeur. | Épaisseur. | Largeur. | Épaisseur. | | FORME. | DIMENSIONS. |
| | | | | mètres. | | |
| 23 | 14.0 | 52 | 32.0 | 5.00 | Paquet. | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 24 | 2.0 | 54 | 4.5 | 4.40 | id. | De 81 sur 58 millimètres de côté. |
| 24 | 2.5 | 54 | 6.0 | id. | id. | id. |
| 24 | 3.0 | 54 | 7.0 | id. | id. | id. |
| 24 | 4.0 | 54 | 9.0 | 5.00 | id. | De 81 sur 81 millimètres de côté. |
| 24 | 5.0 | 54 | 11.0 | id. | id. | id. |
| 24 | 6.0 | 54 | 14.0 | 6.00 | id. | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 24 | 7.0 | 54 | 16.0 | id. | id. | id. |
| 24 | 8.0 | 54 | 18.0 | id. | id. | id. |
| 24 | 9.0 | 54 | 20.0 | id. | id. | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 24 | 10.0 | 54 | 23.0 | id. | id. | id. |
| 24 | 11.0 | 54 | 25.0 | id. | id. | id. |
| 24 | 12.0 | 54 | 27.0 | id. | id. | id. |
| 24 | 13.0 | 54 | 29.0 | id. | id. | id. |
| 24 | 14.0 | 54 | 32.0 | id. | id. | id. |
| 24 | 15.0 | 54 | 34.0 | id. | id. | id. |
| 24 | 16.0 | 54 | 36.0 | id. | id. | id. |
| 24 | 17.0 | 54 | 38.0 | id. | id. | id. |
| 24 | 18.0 | 54 | 40.0 | id. | id. | id. |
| 25 | 2.0 | 56 | 4.5 | 4.40 | id. | De 81 sur 81 millimètres de côté. |
| 25 | 2.5 | 56 | 6.0 | id. | id. | id. |
| 25 | 3.0 | 56 | 7.0 | id. | id. | id. |
| 25 | 4 0 | 56 | 9.0 | 5.00 | id. | id. |
| 25 | 5.0 | 56 | 11.0 | id. | id. | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 25 | 6.0 | 56 | 14.0 | 6.00 | id. | id. |
| 25 | 7.0 | 56 | 16.0 | id. | id. | id. |
| 25 | 8.0 | 56 | 18.0 | id. | id. | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 25 | 9.0 | 56 | 20.0 | id. | id. | id. |
| 25 | 10.0 | 56 | 23.0 | id. | id. | id. |
| 25 | 11.0 | 56 | 25.0 | id. | id. | id. |
| 25 | 12.0 | 56 | 27.0 | id. | id. | id. |
| 25 | 13.0 | 56 | 29.0 | id. | id. | id. |
| 25 | 14.0 | 56 | 32.8 | id. | id. | id. |
| 25 | 15.0 | 56 | 34.0 | id. | id. | id. |
| 26 | 2.0 | 58 | 4.5 | 4.40 | id. | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 26 | 2.5 | 58 | 6.0 | id. | id. | id. |
| 26 | 3.0 | 58 | 7.0 | id. | id. | id. |
| 26 | 4.0 | 58 | 9.0 | 5.00 | id. | id. |
| 26 | 5.0 | 58 | 11.0 | id. | id. | id. |
| 26 | 6.0 | 58 | 14.0 | 6.00 | id. | id. |
| 26 | 7.0 | 58 | 16.0 | id. | id. | id. |
| 26 | 8.0 | 58 | 18.0 | id. | id. | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 26 | 9.0 | 58 | 20.0 | id. | id. | id. |
| 26 | 10.0 | 58 | 23.0 | id. | id. | id. |
| 26 | 11.0 | 58 | 25.0 | id. | id. | id. |
| 26 | 12.0 | 58 | 27.0 | id. | id. | id. |
| 26 | 13.0 | 58 | 29.0 | id. | id. | id. |
| 26 | 14.0 | 58 | 32.0 | id. | id. | id. |
| 26 | 15.0 | 58 | 34 0 | id. | id. | id. |
| 27 | 2.0 | 60 | 4.5 | 5.00 | id. | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 27 | 2.5 | 60 | 6.0 | id. | id. | id. |
| 27 | 3.0 | 60 | 7.0 | id. | id. | id. |
| 27 | 4 0 | 60 | 9.0 | id. | id. | id. |
| 27 | 5.0 | 60 | 11.0 | id. | id. | id. |
| 27 | 6 0 | 60 | 14.0 | 6.00 | id. | id. |
| 27 | 7.0 | 60 | 16.0 | id. | id. | id. |
| 27 | 8.0 | 60 | 18 0 | id. | id. | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 27 | 9.0 | 60 | 20.0 | id. | id. | id. |
| 27 | 10.0 | 60 | 23.0 | id. | id. | id. |
| 27 | 11.0 | 60 | 25.0 | id. | id. | id. |
| 27 | 12.0 | 60 | 27.0 | id. | id. | id. |

Digitized by Google

**Plate.**

| DIMENSIONS EN LIGNES. Largeur. | DIMENSIONS EN LIGNES. Épaisseur. | DIMENSIONS EN MILLIMÈTRES. Largeur. | DIMENSIONS EN MILLIMÈTRES. Épaisseur. | LONGUEURS MOYENNES des BARRES AFFRANCHIES. | PIÈCE BRUTE. FORME. | PIÈCE BRUTE. DIMENSIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | mètres. | | |
| 27 | 13.0 | 60 | 29.0 | 6.00 | Paquet. | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 27 | 14.0 | 60 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 27 | 15.0 | 60 | 34.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 27 | 16.0 | 60 | 36.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 27 | 17.0 | 60 | 38.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 27 | 18.0 | 60 | 40.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 28 | 2.0 | 63 | 4.5 | 5.00 | *id.* | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 28 | 2.5 | 63 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 28 | 3.0 | 63 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 28 | 4.0 | 63 | 9.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 28 | 5.0 | 63 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 28 | 6.0 | 63 | 14.0 | 6.00 | *id.* | *id.* |
| 28 | 7.0 | 63 | 16.0 | *id.* | *id.* | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 28 | 8.0 | 63 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 28 | 9.0 | 63 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 28 | 10.0 | 63 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 28 | 11.0 | 63 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 28 | 12.0 | 63 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 28 | 13.0 | 63 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 28 | 14.0 | 63 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 28 | 15.0 | 63 | 34.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 29 | 2.0 | 65 | 4.5 | 5.00 | *id.* | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 29 | 2.5 | 65 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 29 | 3.0 | 65 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 29 | 4.0 | 65 | 9.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 29 | 5.0 | 65 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 29 | 6.0 | 65 | 14.0 | 6.00 | *id.* | *id.* |
| 29 | 7.0 | 65 | 16.0 | *id.* | *id.* | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 29 | 8.0 | 65 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 29 | 9.0 | 65 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 29 | 10.0 | 65 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 29 | 11.0 | 65 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 29 | 12.0 | 65 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 29 | 13.0 | 65 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 29 | 14.0 | 65 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 29 | 15.0 | 65 | 34.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 30 | 2.0 | 68 | 4.5 | 5.00 | *id.* | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 30 | 2.5 | 68 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 30 | 3.0 | 68 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 30 | 4.0 | 68 | 9.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 30 | 5.0 | 68 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 30 | 6.0 | 68 | 14.0 | 6.00 | *id.* | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 30 | 7.0 | 68 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 30 | 8.0 | 68 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 30 | 9.0 | 68 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 30 | 10.0 | 68 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 30 | 11.0 | 68 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 30 | 12.0 | 68 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 30 | 13.0 | 68 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 30 | 14.0 | 68 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 30 | 15.0 | 68 | 34.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 30 | 16.0 | 68 | 36.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 30 | 17.0 | 68 | 38.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 30 | 18.0 | 68 | 40.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 32 | 2.0 | 72 | 4.5 | 5.00 | *id.* | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 32 | 2.5 | 72 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 32 | 3.0 | 72 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 32 | 4.0 | 72 | 9.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 32 | 5.0 | 72 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 32 | 6.0 | 72 | 14.0 | 6.00 | *id.* | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 32 | 7.0 | 72 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* |

Digitized by Google

**Plats.**

| DIMENSIONS EN LIGNES. | | DIMENSIONS EN MILLIMÈTRES. | | LONGUEURS MOYENNES des BARRES ATTRASCHIES. | PIÈCE BRUTE. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Largeur. | Épaisseur. | Largeur. | Épaisseur. | | FORME. | DIMENSIONS. |
| | | | | mètres. | | |
| 32 | 8.0 | 72 | 18.0 | 6.00 | Paquet. | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 32 | 9.0 | 72 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 32 | 10.0 | 72 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 32 | 11.0 | 72 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 32 | 12.0 | 72 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 32 | 13.0 | 72 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 32 | 14.0 | 72 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 32 | 15.0 | 72 | 34.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 32 | 16.0 | 72 | 36.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 32 | 17.0 | 72 | 38.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 32 | 18.0 | 72 | 40.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 33 | 2.0 | 75 | 4.5 | 5.00 | *id.* | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 33 | 2.5 | 75 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 33 | 3.0 | 75 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 33 | 4.0 | 75 | 9.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 33 | 5.0 | 75 | 11.0 | *id.* | *id.* | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 33 | 6.0 | 75 | 14.0 | 6.00 | *id.* | *id.* |
| 33 | 7.0 | 75 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 33 | 8.0 | 75 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 33 | 9.0 | 75 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 33 | 10.0 | 75 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 33 | 11.0 | 75 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 33 | 12.0 | 75 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 33 | 13.0 | 75 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 33 | 14.0 | 75 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 33 | 15.0 | 75 | 34.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 33 | 16.0 | 75 | 36.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 33 | 17.0 | 75 | 38.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 33 | 18.0 | 75 | 40.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 36 | 2.0 | 81 | 4.5 | 5.00 | *id.* | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 36 | 2.5 | 81 | 6.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 36 | 3.0 | 81 | 7.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 36 | 4.0 | 81 | 9.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 36 | 5.0 | 81 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 36 | 6.0 | 81 | 14.0 | 6.00 | *id.* | *id.* |
| 36 | 7.0 | 81 | 16.0 | *id.* | *id.* | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 36 | 8.0 | 81 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 36 | 9.0 | 81 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 36 | 10.0 | 81 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 36 | 11.0 | 81 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 36 | 12.0 | 81 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 36 | 13.0 | 81 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 36 | 14.0 | 81 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 36 | 15.0 | 81 | 34.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 36 | 16.0 | 81 | 36.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 36 | 17.0 | 81 | 38.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 36 | 18.0 | 81 | 40.0 | *id.* | *id.* | De 162 sur 162 millimètres de côté. |
| 36 | 19.0 | 81 | 43.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 36 | 20.0 | 81 | 45.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 39 | 3.0 | 88 | 7.0 | 5.00 | *id.* | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 39 | 4.0 | 88 | 9.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 39 | 5.0 | 88 | 11.0 | *id.* | *id.* | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 39 | 6.0 | 88 | 14.0 | 6.00 | *id.* | *id.* |
| 39 | 7.0 | 88 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 39 | 8.0 | 88 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 39 | 9.0 | 88 | 20.0 | *id.* | *id.* | De 162 sur 162 millimètres de côté. |
| 39 | 10.0 | 88 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 39 | 11.0 | 88 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 39 | 12.0 | 88 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 39 | 13.0 | 88 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 39 | 14.0 | 88 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* |

Digitized by Google

**Plats.**

| DIMENSIONS EN LIGNES. | | DIMENSIONS EN MILLIMÈTRES. | | LONGUEURS MOYENNES des BARRES AFFRANCHIES. | PIÈCE BRUTE. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Largeur. | Épaisseur. | Largeur. | Épaisseur. | | FORME. | DIMENSIONS. |
| | | | | mètres. | | |
| 39 | 15.0 | 88 | 34.0 | 6.00 | Paquet. | De 162 sur 162 millimètres de côté. |
| 39 | 16.0 | 88 | 36.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 39 | 17.0 | 88 | 38.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 39 | 18.0 | 88 | 40.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 42 | 3.0 | 95 | 7.0 | 5.00 | *id.* | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 42 | 4.0 | 95 | 9.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 42 | 5.0 | 95 | 11.0 | 6.00 | *id.* | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 42 | 6.0 | 95 | 14.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 42 | 7.0 | 95 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 42 | 8.0 | 95 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 42 | 9.0 | 95 | 20.0 | *id.* | *id.* | De 162 sur 162 millimètres de côté. |
| 42 | 10.0 | 95 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 42 | 11.0 | 95 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 42 | 12.0 | 95 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 42 | 13.0 | 95 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 42 | 14.0 | 95 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 42 | 15.0 | 95 | 34.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 42 | 16.0 | 95 | 36.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 42 | 17.0 | 95 | 38.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 42 | 18.0 | 95 | 40.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 42 | 19.0 | 95 | 43.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 45 | 3.0 | 100 | 7.0 | 5.00 | *id.* | De 108 sur 108 millimètres de côté. |
| 45 | 4.0 | 100 | 9.0 | *id.* | *id.* | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 45 | 5.0 | 100 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 45 | 6.0 | 100 | 14.0 | 6.00 | *id.* | *id.* |
| 45 | 7.0 | 100 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 45 | 8.0 | 100 | 18.0 | *id.* | *id.* | De 162 sur 162 millimètres de côté. |
| 45 | 9.0 | 100 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 45 | 10.0 | 100 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 45 | 11.0 | 100 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 45 | 12.0 | 100 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 45 | 13.0 | 100 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 45 | 14.0 | 100 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 45 | 15.0 | 100 | 34.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 45 | 16.0 | 100 | 36.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 45 | 17.0 | 100 | 38.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 45 | 18.0 | 100 | 40.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 45 | 19.0 | 100 | 43.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 48 | 3.0 | 108 | 7.0 | 5.00 | *id.* | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 48 | 4.0 | 108 | 9.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 48 | 5.0 | 108 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 48 | 6.0 | 108 | 14.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 48 | 7.0 | 108 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 48 | 8.0 | 108 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 48 | 9.0 | 108 | 20.0 | 6.00 | *id.* | De 162 sur 162 millimètres de côté. |
| 48 | 10.0 | 108 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 48 | 11.0 | 108 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 48 | 12.0 | 108 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 48 | 13.0 | 108 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 48 | 14.0 | 108 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 48 | 15.9 | 108 | 34.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 48 | 16.0 | 108 | 36.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 48 | 17.0 | 108 | 38.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 48 | 18.0 | 108 | 40.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 48 | 19.0 | 108 | 43.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 48 | 20.0 | 108 | 45.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 51 | 3.0 | 115 | 7.0 | 5.00 | *id.* | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 51 | 4.0 | 115 | 9.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 51 | 5.0 | 115 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 51 | 6.0 | 115 | 14.0 | *id.* | *id.* | *id.* |
| 51 | 7.0 | 115 | 16.0 | 6.00 | *id.* | De 162 sur 162 millimètres de côté. |

Digitized by Google

**Plats.**

| DIMENSIONS EN LIGNES. Largeur. | Épaisseur. | DIMENSIONS EN MILLIMÈTRES. Largeur. | Épaisseur. | LONGUEURS MOYENNES des BARRES AFFRANCHIES. | PIÈCE BRUTE. FORME. | DIMENSIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | mètres. | | |
| 51 | 8.0 | 115 | 18.0 | 6.00 | Paquet. | De 162 sur 162 millimètres de côté. |
| 51 | 9.0 | 115 | 20.0 | id. | id. | id. |
| 51 | 10.0 | 115 | 23.0 | id. | id. | id. |
| 51 | 11.0 | 115 | 25.0 | id. | id. | id. |
| 51 | 12.0 | 115 | 27.0 | id. | id. | id. |
| 51 | 13.0 | 115 | 29.0 | id. | id. | id. |
| 51 | 14.0 | 115 | 32.0 | id. | id. | id. |
| 51 | 15.0 | 115 | 34.0 | id. | id. | id. |
| 51 | 16.0 | 115 | 36.0 | id. | id. | id. |
| 51 | 17.0 | 115 | 38.0 | id. | id. | id. |
| 51 | 18.0 | 115 | 40.0 | id. | id. | id. |
| 51 | 19.0 | 115 | 43.0 | id. | id. | id. |
| 51 | 20.0 | 115 | 45.0 | id. | id. | id. |
| 55 | 3.0 | 125 | 7.0 | 5.00 | id. | De 135 sur 135 millimètres de côté. |
| 55 | 4.0 | 125 | 9.0 | id. | id. | id. |
| 55 | 5.0 | 125 | 11.0 | id. | id. | id. |
| 55 | 6.0 | 125 | 14.0 | id. | id. | id. |
| 55 | 7.0 | 125 | 16.0 | 6.00 | id. | De 162 sur 162 millimètres de côté. |
| 55 | 8.0 | 125 | 18.0 | id. | id. | id. |
| 55 | 9.0 | 125 | 20.0 | id. | id. | id. |
| 55 | 10.0 | 125 | 23.0 | id. | id. | id. |
| 55 | 11.0 | 125 | 25.0 | id. | id. | id. |
| 55 | 12.0 | 125 | 27.0 | id. | id. | id. |
| 55 | 13.0 | 125 | 29.0 | id. | id. | id. |
| 55 | 14.0 | 125 | 32.0 | id. | id. | id. |
| 55 | 15.0 | 125 | 34.0 | id. | id. | id. |
| 55 | 16.0 | 125 | 36.0 | id. | id. | De 189 sur 189 millimètres de côté. |
| 55 | 17.0 | 125 | 38.0 | id. | id. | id. |
| 55 | 18.0 | 125 | 40.0 | id. | id. | id. |
| 55 | 19.0 | 125 | 43.0 | id. | id. | id. |
| 55 | 20.0 | 125 | 45.0 | id. | id. | id. |
| 60 | 3.0 | 135 | 7.0 | 5.00 | id. | De 162 sur 162 millimètres de côté. |
| 60 | 4.0 | 135 | 9.0 | id. | id. | id. |
| 60 | 5.0 | 135 | 11.0 | id. | id. | id. |
| 60 | 6.0 | 135 | 14.0 | id. | id. | id. |
| 60 | 7.0 | 135 | 16.0 | id. | id. | id. |
| 60 | 8.0 | 135 | 18.0 | id. | id. | id. |
| 60 | 9.0 | 135 | 20.0 | id. | id. | id. |
| 60 | 10.0 | 135 | 23.0 | id. | id. | id. |
| 60 | 11.0 | 135 | 25.0 | id. | id. | id. |
| 60 | 12.0 | 135 | 27.0 | id. | id. | id. |
| 60 | 13.0 | 135 | 29.0 | id. | id. | id. |
| 60 | 14.0 | 135 | 32.0 | id. | id. | id. |
| 60 | 15.0 | 135 | 34.0 | 6.00 | id. | De 189 sur 189 millimètres de côté. |
| 60 | 16.0 | 135 | 36.0 | id. | id. | id. |
| 60 | 17.0 | 135 | 38.0 | id. | id. | id. |
| 60 | 18.0 | 135 | 40.0 | id. | id. | id. |
| 66 | 3.0 | 150 | 7.0 | 5.00 | id. | De 162 sur 162 millimètres de côté. |
| 66 | 4.0 | 150 | 9.0 | id. | id. | id. |
| 66 | 5.0 | 150 | 11.0 | id. | id. | id. |
| 66 | 6.0 | 150 | 14.0 | id. | id. | id. |
| 66 | 7.0 | 150 | 16.0 | id. | id. | id. |
| 66 | 8.0 | 150 | 18.0 | id. | id. | id. |
| 66 | 9.0 | 150 | 20.0 | 6.00 | id. | De 189 sur 189 millimètres de côté. |
| 66 | 10.0 | 150 | 23.0 | id. | id. | id. |
| 66 | 11.0 | 150 | 25.0 | id. | id. | id. |
| 66 | 12.0 | 150 | 27.0 | id. | id. | id. |
| 66 | 13.0 | 150 | 29.0 | id. | id. | id. |
| 66 | 14.0 | 150 | 32.0 | id. | id. | id. |
| 66 | 15.0 | 150 | 34.0 | id. | id. | id. |
| 66 | 16.0 | 150 | 36.0 | id. | id. | id. |



Digitized by Google

**Plats.**

| DIMENSIONS EN LIGNES. | | DIMENSIONS EN MILLIMÈTRES. | | LONGUEURS MOYENNES des BARRES AFFRANCHIES. | PIÈCE BRUTE. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Largeur. | Épaisseur. | Largeur. | Épaisseur. | | FORME. | DIMENSIONS. | |
| | | | | mètres. | | | |
| 66 | 17.0 | 150 | 38.0 | 6.00 | Paquet. | De 189 sur 189 millimètres de côté. | |
| 66 | 18.0 | 150 | 40.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 72 | 3.0 | 162 | 7.0 | 5.00 | *id.* | De 162 sur 162 millimètres de côté. | |
| 72 | 4.0 | 162 | 9.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 72 | 5.0 | 162 | 11.0 | 6.00 | *id.* | De 189 sur 189 millimètres de côté. | |
| 72 | 6.0 | 162 | 14.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 72 | 7.0 | 162 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 72 | 8.0 | 162 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 72 | 9.0 | 162 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 72 | 10.0 | 162 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 72 | 11.0 | 162 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 72 | 12.0 | 162 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 72 | 13.0 | 162 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 72 | 14.0 | 162 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 72 | 15.0 | 162 | 34.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 72 | 16.0 | 162 | 36.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 72 | 17.0 | 162 | 38.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 72 | 18.0 | 162 | 40.0 | *id.* | *id.* | De 216 sur 216 millimètres de côté. | |
| 72 | 19.0 | 162 | 43.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 72 | 20.0 | 162 | 45.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 80 | 3.0 | 180 | 7.0 | 5.00 | *id.* | De 189 sur 189 millimètres de côté. | |
| 80 | 4.0 | 180 | 9.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 80 | 5.0 | 180 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 80 | 6.0 | 180 | 14.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 80 | 7.0 | 180 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 80 | 8.0 | 180 | 18.0 | 6.00 | *id.* | De 216 sur 216 millimètres de côté. | |
| 80 | 9.0 | 180 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 80 | 10.0 | 180 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 80 | 11.0 | 180 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 80 | 12.0 | 180 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 80 | 13.0 | 180 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 80 | 14.0 | 180 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 80 | 15.0 | 180 | 34.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 80 | 6.0 | 180 | 36.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 89 | 3.0 | 200 | 7.0 | *id.* | *id.* | De 189 sur 189** de côté. | On ébauche en barres pour les quatre premiers articles. |
| 89 | 4.0 | 200 | 9.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 89 | 5.0 | 200 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 89 | 6.0 | 200 | 14.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 89 | 7.0 | 200 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 89 | 8.0 | 200 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 89 | 9.0 | 200 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 89 | 10.0 | 200 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 89 | 11.0 | 200 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 89 | 12.0 | 200 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 89 | 13.0 | 200 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 89 | 14.0 | 200 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 89 | 15.0 | 200 | 34.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 89 | 16.0 | 200 | 36.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 89 | 17.0 | 200 | 38.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 98 | 3.0 | 220 | 7.0 | *id.* | *id.* | De 216 sur 243** de côté. | On ébauche en barres. |
| 98 | 4.0 | 220 | 9.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 98 | 5.0 | 220 | 11.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 98 | 6.0 | 220 | 14.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 98 | 7.0 | 220 | 16.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 98 | 8.0 | 220 | 18.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 98 | 9.0 | 220 | 20.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 98 | 10.0 | 220 | 23.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 98 | 11.0 | 220 | 25.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 98 | 12.0 | 220 | 27.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 98 | 13.0 | 220 | 29.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |
| 98 | 14.0 | 220 | 32.0 | *id.* | *id.* | *id.* | |

Digitized by Google

**Plats.**

| DIMENSIONS EN LIGNES. Largeur. | Épaisseur. | EN MILLIMÈTRES. Largeur. | Épaisseur. | LONGUEURS MOYENNES des BARRES APPRÊTÉES. | PIÈCE BRUTE. FORME. | DIMENSIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | mètres. | | |
| 98 | 15.0 | 220 | 34.0 | 6.00 | Paquet. | De 216 sur 243 millimètres de côté. |
| 98 | 16.0 | 220 | 36.0 | id. | id. | id. |
| 98 | 17.0 | 220 | 38.0 | id. | id. | id. |
| 98 | 18.0 | 220 | 40.0 | id. | id. | id. |
| 118 | 2.5 | 265 | 6.0 | id. | id. | De 255 sur 100 millimètres de côté. |
| 118 | 3.0 | 265 | 7.0 | id. | id. | id. |
| 118 | 4.0 | 265 | 9.0 | id. | id. | id. |
| 118 | 5.0 | 265 | 11.0 | id. | id. | id. |
| 118 | 6.0 | 265 | 14.0 | id. | id. | id. |
| 118 | 7.0 | 265 | 16.0 | id. | id. | id. |
| 118 | 8.0 | 265 | 18.0 | id. | id. | id. |
| 118 | 9.0 | 265 | 20.0 | id. | id. | id. |
| 118 | 10.0 | 265 | 23.0 | id. | id. | id. |
| 118 | 11.0 | 265 | 25.0 | id. | id. | id. |
| 118 | 12.0 | 265 | 27.0 | id. | id. | id. |
| 118 | 13.0 | 265 | 29.0 | id. | id. | id. |
| 118 | 14.0 | 265 | 32.0 | id. | id. | id. |

**2° Fers extra.** (Pl. 30, 31.)

CORNIÈRES.

| NUMÉROS des FIGURES. | POIDS DU MÈTRE courant. | PIÈCE DE FER BRUT. FORME. | LARGEUR. | ÉPAISSEUR. | SECTIONS. ÉCHANTILLONS. | LOPINS. | RAPPORT DES SECTIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Kil. | | Millim. | Millim. | Millim. carrés. | Millim. carrés. | |
| 48 | 2.50 | Blette. | 60 à 65 de côté. | | 320 | 3600 | 1 : 11.2 |
| 49 | 4.20 | Lopin. | 110 | 110 | 540 | 12100 | 22.0 |
| 50 | 4.80 | id. | 110 | 110 | 615 | 12100 | 19.7 |
| 51 | 5.50 | id. | 110 | 110 | 705 | 12100 | 17.2 |
| 52 | 8.00 | id. | 135 | 110 | 1025 | 14800 | 14.5 |
| 53 | 10.65 | id. | 135 | 135 | 1350 | 18250 | 13.5 |
| 54 | 0.70 | Blette. | 32 | 32 | 80 | 1020 | 12.7 |
| 55 | 1.00 | id. | 34 | 34 | 122 | 1155 | 9.4 |
| 56 | 1.20 | id. | 40 | 40 | 154 | 1600 | 10.4 |
| 57 | 1.65 | id. | 45 | 45 | 212 | 2030 | 9.7 |
| 58 | 2.60 | id. | 60 | 60 | 334 | 3600 | 10.8 |
| 59 | 2.90 | Lopin. | 110 | 110 | 371 | 12100 | 31.2 |
| 60 | 4.30 | id. | 110 | 110 | 550 | 12100 | 22.0 |
| 61 | 4.00 | id. | 110 | 110 | 512 | 12100 | 23.5 |
| 62 | 5.00 | id. | 110 | 110 | 640 | 12100 | 18.9 |
| 63 | 6.00 | id. | 110 | 110 | 770 | 12100 | 15.7 |
| 64 | 5.20 | id. | 135 | 110 | 666 | 14800 | 22.3 |
| 65 | 6.25 | id. | 135 | 110 | 800 | 14800 | 18.7 |
| 66 | 7.00 | id. | 135 | 110 | 890 | 14800 | 16.6 |
| 67 | 7.20 | id. | 135 | 110 | 923 | 14800 | 16.1 |
| 68 | 7.00 | id. | 135 | 135 | 890 | 18250 | 20.5 |
| 69 | 10 40 | id. | 135 | 135 | 1332 | 18250 | 13.7 |
| 70 | 9.50 | id. | 135 | 135 | 1220 | 18250 | 15.0 |
| 71 | 11.00 | id. | 135 | 135 | 1410 | 18250 | 13.0 |
| 72 | 11 50 | id. | 135 | 135 | 1475 | 18250 | 12.3 |
| 73 | 16.00 | id. | 160 | 135 | 2050 | 21600 | 10.5 |
| 74 | 11.50 | id. | 160 | 135 | 1475 | 21600 | 14.6 |
| 75 | 14.75 | id. | 160 | 135 | 1890 | 21600 | 11.5 |
| 76 | 13.25 | id. | 160 | 160 | 1700 | 25600 | 15.1 |
| 77 | 23.00 | id. | 160 | 160 | 2950 | 25600 | 8.7 |

Composition : H·H. — Tous les lopins pour cornières reçoivent deux chaudes, soit dégrossis en blettes et coupés à froid pour les petits échantillons, soit faits à chaude et demie pour les grosses dimensions.

Digitized by Google

**Fers extra.** (Pl. 32, 33.)

| NUMÉROS DES FIGURES. | POIDS DU MÈTRE COURANT. | PIÈCE DE FER BRUT. FORME. | LARGEUR. | ÉPAISSEUR. | SECTIONS. ÉCHANTILLONS. | LOPINS. | RAPPORT DES SECTIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Kilogr. | | Millim. | Millim. | Millim. carrés. | Millim. carrés. | |
| **FERS A VITRAGES.** | | | | | | | |
| 78 | 3.90 | Blette. | 75 | 75 | 500 | 5650 | 1 : 11.1 |
| 79 | 3.50 | *id.* | 75 | 75 | 449 | 5650 | 12.6 |
| 80 | 2.90 | *id.* | 60 | 60 | 372 | 3600 | 9.7 |
| 81 | 2.80 | *id.* | 50 | 50 | 359 | 2500 | 7.0 |
| 82 | 2.15 | *id.* | 50 | 50 | 276 | 2500 | 9.1 |
| 83 | 2.10 | *id.* | 40 | 40 | 270 | 1600 | 6.0 |
| 84 | 1.55 | *id.* | 36 | 36 | 199 | 1300 | 6.5 |
| 85 | 4.00 | *id.* | 75 | 75 | 512 | 5650 | 11.0 |
| 86 | 3.55 | *id.* | 75 | 75 | 455 | 5650 | 12.4 |
| 87 | 3.00 | *id.* | 60 | 60 | 385 | 3600 | 9.4 |
| 88 | 1.00 | *id.* | 32 | 32 | 128 | 1025 | 8.0 |
| 89 | 3.30 | *id.* | 75 | 75 | 423 | 5650 | 13.3 |
| 90 | 2.15 | *id.* | 60 | 60 | 276 | 3600 | 13.0 |
| 91 | 1.75 | *id.* | 36 | 36 | 225 | 1300 | 5.7 |
| **FERS EN T.** | | | | | | | |
| 92 | 18.75 | Blette. | 150 | 150 | 2400 | 22500 | 1 : 9.4 |
| 93 | 22 00 | Paquet. | 180 | 180 | 2820 | 32500 | 11.5 |
| 94 | 27.00 | *id.* | 180 | 180 | 3460 | 32500 | 9.4 |
| 95 | 17.50 | Lopin. | 160 | 160 | 2250 | 25600 | 11.4 |
| 96 | 14.10 | *id.* | 135 | 135 | 1810 | 18250 | 10.1 |
| 97 | 11.75 | *id.* | 135 | 135 | 1500 | 18250 | 12.2 |
| 98 | 8.40 | *id.* | 135 | 110 | 1080 | 11900 | 13.8 |
| 99 | 6.30 | *id.* | 135 | 110 | 810 | 14900 | 18.4 |
| 100 | 7.52 | *id.* | 135 | 110 | 965 | 14900 | 15.5 |
| 101 | 5.55 | Blette. | 75 | 75 | 710 | 5650 | 8.0 |
| 102 | 3.90 | *id.* | 75 | 75 | 500 | 5650 | 11.3 |
| **FERS EN DOUBLE T.** | | | | | | | |
| 103 | 32.00 | Paquet. | 180 | 220 | 4100 | 39500 | 1 : 9.64 |
| 104 | 21.00 | *id.* | 180 | 220 | 2700 | 39500 | 14.61 |
| 105 | 15.00 | *id.* | 180 | 180 | 1920 | 32400 | 16.90 |
| 106 | 10.00 | *id.* | 180 | 180 | 1280 | 32400 | 25.30 |
| 107 | 20.00 | *id.* | 180 | 180 | 2560 | 32400 | 12.65 |
| 108 | 14.00 | *id.* | 180 | 180 | 1790 | 32400 | 18.10 |
| 109 | 26.00 | *id.* | 180 | 180 | 3330 | 32400 | 9.70 |
| 110 | 16.00 | *id.* | 180 | 180 | 2050 | 32400 | 15.80 |
| 111 | 17.00 | *id.* | 180 | 180 | 2180 | 32400 | 14.80 |
| 112 | 13.00 | *id.* | 180 | 180 | 1665 | 32400 | 19.40 |
| 113 | 18.50 | *id.* | 180 | 180 | 2310 | 32400 | 14.00 |
| 114 | 14.00 | *id.* | 180 | 180 | 1790 | 32400 | 18.10 |
| 115 | 23.67 | *id.* | 180 | 220 | 3400 | 39500 | 11.60 |

Comme on peut s'en convaincre en comparant les sections des pièces brutes aux sections des barres finies, l'étirage varie entre 3 et 30, 3 pour les gros échantillons, 30 pour les petits.

Il est évident que l'étirage de 3 est insuffisant, comme l'étirage de 30 est exagéré. Le premier provient de ce que l'ébaucheur n'est pas assez gros pour prendre le paquet que comporte l'étirage de l'échantillon; aussi cet étirage de 3 ne s'applique-t-il jamais à des paquets, mais à des pièces qui ont été préalablement étirées au marteau de 2 au moins, ce qui fait 6 au sortir du laminoir. Or 6 est un étirage suffisant pour un gros rond; mais il ne suffirait pas pour un carré, dont les arêtes doivent être vives.

Digitized by Google

Nous avons dit que, pour les plats, il suffisait d'augmenter de 0m.001 à 0m.002 les largeurs des cannelures successives pour permettre à la barre d'y entrer sans difficulté et surtout sans se cisailler sur ses bords. Pour les carrés et les ronds, on suit une méthode d'étirage analogue à celle dont nous avons parlé pour l'ébauchage, c'est-à-dire qu'on fait travailler le laminoir exclusivement de champ, en évasant les cannelures dans le sens horizontal. Ce procédé a pour but, comme dans l'ébauchage, d'éviter la formation de bavures. La barre alors fait, à chaque passe, soit un quart de tour s'il s'agit de carré, soit un sixième de tour s'il s'agit de rond, et, afin qu'elle affecte bien la section qu'on veut lui donner, on la passe quatre, cinq et six fois, surtout pour les ronds, dans la dernière cannelure.

Pour les petits fers, qui ne comportent pas de perte de temps, à cause du refroidissement, on opère différemment; l'étirage s'effectue au moyen de cannelures alternativement ovales, très-allongées et carrées. L'ovale se compose de deux arcs de cercle horizontaux dont les branches se rencontrent à la surface des cylindres en contact. Les laminoirs travaillent de champ, comme précédemment, de la manière suivante : supposons que la barre sortant de la cannelure carrée ait pour diagonale 0m.024; on la fait passer dans une cannelure ovale ayant 0m.025 de large horizontalement sur 0m.012 d'épaisseur verticale. En donnant 0m.025 à la largeur au lieu de 0m.024, on n'a d'autre but que d'éviter les bavures. De cet ovale la barre passe dans une cannelure carrée ayant pour diagonale 0m.017. Du carré elle passe dans un ovale ayant 0m.018 de large sur 0m.008 d'épaisseur, puis de là dans un carré ayant pour diagonale 0m.012, puis dans un ovale de 0m.013 de large sur 0m.006 d'épaisseur, et ainsi de suite jusqu'à la cannelure finale, qui est un rond ou un carré, et suit, dans le premier cas, une cannelure ogive et, dans le second, une cannelure carrée.

Les vitesses du laminage ne sont pas les mêmes pour tous les échantillons : pour les gros fers, qui se manœuvrent difficilement, donnent de violentes secousses à leur entrée dans les laminoirs et se refroidissent lentement, la vitesse de rotation à la surface des cylindres ne dépasse pas 1 mètre; pour les petits fers, au contraire, qui sont d'une manœuvre facile, en ce sens qu'ils ne pèsent presque rien, mais se refroidissent avec une rapidité extraordinaire, la vitesse de rotation à la surface des cylindres atteint, dans certaines usines, jusqu'à 3 mètres par seconde.

En supposant les diamètres moyens des cylindres les suivants :

| | |
|---|---|
| Gros mill. . . . . | 0m.50 |
| Moyen mill. . . . . | 0m.375 |
| Petit mill. . . . . | 0m.25 |

on voit que le nombre de tours minimum, au gros mill, est de 38 tours par minute, tandis que le nombre de tours maximum, au petit mill, est de 230 tours.

Pour les échantillons moyens, ces vitesses ne conviennent ni au gros mill ni au petit mill; elles indiquent seulement qu'il convient de n'avoir pas, à chaque train, une vitesse uniforme pour tous les fers à fabriquer, et que le meilleur moyen de lui affecter une vitesse variable, c'est de lui donner un moteur spécial. C'est ce qu'ont compris et exécuté MM. *Thomas* et *Laurens* dans la forge, dite de *Bodhuille*, qu'ils ont établie à *Givors* (Rhône).

Les vitesses pour échantillons moyens, avec les diamètres des cylindres indiqués ci-dessus, sont :

| | | |
|---|---|---|
| Au gros mill. . . . . | 50 | tours par minute. |
| Au moyen mill. . . . . | 100 | — |
| Au petit mill. . . . . | 150 | — |

Digitized by Google

En appliquant directement à chaque train une machine à vapeur à détente variable et munie d'un volant rendu énergique soit par son poids, soit par sa vitesse, on peut faire varier les vitesses :

| | |
|---|---|
| Au gros mill. . . . . | de 35 à 70 tours. |
| Au moyen mill. . . . . | de 80 à 120 — |
| Au petit mill. . . . . | de 125 à 230 — |

C'est en tenant compte des diverses considérations exposées ci-dessus que les maîtres de forges ont adopté, dans leur assemblée générale du 30 octobre 1850, la classification suivante des fers vendus au commerce, savoir :

CLASSIFICATION GÉNÉRALE DES FERS LAMINÉS DES FORGES DE FRANCE.

1re *classe*.

Carrés, de 18 à 61 millimètres.
Ronds, de 21 à 68.
Plats, de 40 à 115 sur 9 et plus.
Dito de 27 à 38 sur 11 et plus.

2e *classe*.

Carrés, de 12 à 17 millimètres.
Gros carrés, de 62 à 81.
Ronds, de 14 à 20.
Gros ronds, de 69 à 81.
Plats, de 40 à 115 sur 6 à 8 et plus.
Méplats, de 20 à 38 sur 8 et plus.
Gros plats, de 120 à 162 sur 12 à 40.

3e *classe*.

Carrés, de 9 à 11 millimètres.
Gros carrés, de 82 à 95.
Ronds, de 9 à 13.
Gros ronds, de 82 à 95.
Bandelettes, de 20 à 36 sur 4 1/2 et plus.
Aplatis, de 40 à 115 sur 4 1/2 et plus.
Plats, de 120 à 162 sur 7 à 11.
Plate-bande demi-ronde, de 27 sur 7 et plus.

4e *classe*.

Carrés, de 6 à 8 millimètres.
Gros carrés, de 96 à 108.
Ronds, de 6 à 8.
Gros ronds, de 96 à 108.
Bandelettes, de 14 à 18 sur 4 1/2 et plus.
Aplatis, de 18 à 108 sur 3 1/2 et plus.
Plate-bande demi-ronde, de 16 à 25 sur 7 et plus.

Digitized by Google

Nota. Tout fer de longueur fixe subit une augmentation de 1 franc par 100 kilogrammes.

Tout fer de moins de 9 millimètres d'épaisseur et de plus de 6 mètres de longueur, non spathé, est payé une classe en plus.

Fers de fenderie, à classer suivant l'usage.

Ronds de tréfilerie de 5 à 6 millimètres, une demi-classe au-dessus de la quatrième.

Hors classe, avec différence au moins d'une classe : vitrages, cornières, fers en T et en double T, demi-feuillards et feuillards, ronds au-dessous de 5 millimètres, ronds et carrés au-dessus de 108 millimètres.

Différence par classe, 2 francs.

Bien que les prescriptions de cette classification ne soient pas toujours rigoureusement observées, elle n'en est pas moins la représentation exacte des valeurs relatives des fers en barres, qualité ordinaire.

### § 3. Du montage des laminoirs à fer en barres.

Un laminoir à fer en barres se compose, avons-nous dit, de deux, trois, quatre ou cinq couples de cylindres (voir pl. 34, fig. 116 et 117 pour le gros mill, et fig. 118 pour le petit mill) roulant l'un sur l'autre et maintenus en place par des *cages* généralement en *fonte*, quelquefois en *fer*, comme viennent d'en établir MM. Petin et Gaudet, dans leur usine de Saint-Chamond, pour un laminoir à tôle monstre. Le mouvement transmis par le moteur est reçu d'abord par une cage A dite à *pignons*, qui a pour mission de le communiquer simultanément aux deux lignes de cylindres superposés. Les communications entre les cages s'effectuent au moyen d'arbres en fonte B et de manchons C dont les sections s'appellent *trèfles*. Des morceaux de bois maintenus en place par des courroies maintiennent sur les arbres l'espacement des manchons et les empêchent de débrayer. Les manchons entrent gaiement dans les arbres et contribuent, avec le jeu des dents des pignons, à donner du retard au cylindre de dessus par rapport à celui du dessous et, partant, à faire remonter les barres, à la sortie des cylindres, quand on n'obvie pas à cet inconvénient en augmentant les diamètres du cylindre supérieur.

On nomme *devant* du laminoir le côté par lequel entrent les barres, et *derrière* du laminoir le côté par lequel elles sortent.

Du côté du devant (fig. 117) est une table sur laquelle pose l'extrémité de la barre avant d'entrer dans la cannelure, ce qui permet, quand elle est pesante, de la faire glisser à droite et à gauche sans la porter. Derrière sont ce qu'on appelle les guides et les contre-guides destinés à empêcher la barre de s'enrouler en dessous quand le cylindre de dessus marche trop vite par rapport à celui du dessous. On a aussi, pour certains échantillons extra, des guides de côté qui forcent la barre à sortir perpendiculairement, quoique l'étirage tende à l'allonger plus dans une partie que dans l'autre. Les fig. 143, 144, 145, 146 (pl. 37) représentent un détail de cage pour gros mill ordinaire.

Quand les pièces à étirer sont lourdes, les *tenailles* sont insuffisantes pour les manœuvrer; on a alors recours aux *bascules* ou *leviers* suspendus à des chaînes D (fig. 116, 117, 118) fixées à des poulies E roulant sur chemins de fer, comme l'indiquent les figures.

Le personnel indispensable d'un laminoir se compose d'un *lamineur* qui introduit la barre dans la cannelure et d'un *rattrapeur* ou *preneur* qui la reçoit de l'autre côté et la repasse au lamineur par-dessus le cylindre supérieur. Quand la barre s'allonge, le lamineur tenant l'extrémité opposée à celle qui doit entrer la première, il lui faut un aide pour introduire la barre. De même, le rattrapeur tenant l'extrémité sortie la première, il faut un *basculeur* pour soulever celle qui sort

Digitized by Google

en dernier et la faire passer par-dessus le cylindre supérieur. Il y a donc au moins quatre personnes desservant un laminoir, sans compter les *dresseurs*, qui, dès que la barre est finie, la posent sur une plaque de fonte droite et la dressent, pendant qu'elle est chaude, en la frappant à coups de maillet sur tous les points qui font saillie.

Toutes les cages d'un même train reposent sur une plaque de fonte, à ergots, en un ou plusieurs morceaux, suivant sa longueur. Autrefois, et il n'y a pas encore dix ans, on était convaincu que, pour éviter la casse des pièces dans les laminoirs, il convenait de leur donner une certaine élasticité; à cet effet, on les montait sur des bâtis en bois (fig. 116, 117) formant deux lignes, laissant entre elles un certain espace, pour permettre de visiter les boulons d'assemblage. Ces bâtis se composaient de deux longrines, l'une inférieure A, et l'autre supérieure B, maintenues écartées par des *chandelles* C, et rendues solidaires par des diagonales D que tenaient fermées les boulons E d'assemblage des plaques de fondation avec le bâti. Les laminoirs ainsi montés ferraillaient d'une manière désolante et usaient rapidement tous les assemblages, notamment les trèfles des arbres et des moufles.

Aujourd'hui il n'en est plus ainsi, du moins dans les nouveaux trains du bassin de la Loire; les caves des laminoirs sont en pierres de taille, et, loin de nuire à la durée des pièces en mouvement, elles l'augmentent; de plus, la rotation se fait d'une manière si régulière, qu'on n'entend les laminoirs marcher que quand il y a une barre engagée dans les cannelures. La seule précaution qu'il convienne de prendre dans ce cas, c'est de rendre le serrage des boulons de fondation élastique, ce qui s'obtient en faisant reposer la plaque de fondation du train sur deux madriers de $0^m.10$ d'épaisseur sur 20 à 30 de large, intercalés entre ladite plaque et chacun des murs qui la supportent et forment entre eux ce qu'on appelle la *cave* du laminoir. On peut augmenter encore l'élasticité du serrage comme nous l'avons fait pour un laminoir à tôle, en mettant une seconde ligne de madriers, de même dimension que la première, au-dessus des trous où logent les clavettes des boulons de fondation des cylindres, de manière à faire serrer les deux extrémités des boulons sur du bois. On comprend, en effet, que, si on opérait le serrage directement sur la pierre, d'abord il n'y en aurait pas, parce que cette dernière ne cède pas; ensuite les chocs qui ont lieu pendant le laminage établiraient un frottement, entre les métaux et la pierre, qui mangerait cette dernière. C'est parce qu'on opéra ainsi primitivement, sans doute, qu'on crut devoir substituer le bâti en bois aux fondations en maçonnerie.

Le train monstre de Saint-Chamond, dont il est parlé plus haut, repose, comme tous les autres trains neufs du pays, sur une fondation de la nature de celle que nous venons de décrire.

### § 4. Des fers de fenderie.

On donne le nom de *fenderie* à tout un système de fabrication spécialement applicable aux plats minces et étroits désignés dans le commerce sous le nom de *lames*, et aux petits *carrés* désignés sous le nom de *verges*. Ce système, qui a précédé de plus de cinquante ans le système des laminoirs à cannelures, consiste à prendre de la tôle ayant une épaisseur suffisante, puis à la passer, encore chaude ou après réchauffage, dans une espèce de laminoir (pl. 35, fig. 119, 120, 121) composé de disques à taillants en acier trempé, fonctionnant comme des cisailles et ayant, pour épaisseur, la largeur que doit avoir l'échantillon de fer; ces disques, qui s'emboîtent les uns dans les autres, sont maintenus écartés, sur chaque axe, par des rondelles d'un diamètre moindre et d'une épaisseur de très-peu supérieure à celle des taillants emboîtés. Le nombre des taillants de l'axe inférieur est égal à celui de l'axe supérieur augmenté de 1, et le nombre des *brins* de fer obtenus à chaque passe est égal au double, moins un, de celui des taillants de l'axe supérieur.

Digitized by Google

Chaque collection de taillants réunis sur un même axe porte le nom de *trousse ;* ces trousses ont 0m.35 environ de diamètre extérieur, et une vitesse de rotation égale à soixante tours par minute. On peut donc mettre le train de fenderie à la suite de celui du gros mill.

Les *lames* ainsi fabriquées ont de 8 à 35 millimètres de large, et les verges ont de 4 à 20 millimètres de côté.

§ 5. Exemples.

Nous terminerons ce que nous avons à dire sur la fabrication du fer en barres par quelques exemples propres à familiariser le lecteur avec les opérations de la forge.

1° *Fabrication de l'échantillon dit cornières de 40 millimètres sur 54 millimètres* (pl. 30, fig. 49), *pesant 4k.20 le mètre.* — Ces cornières se font à deux longueurs et à chaude et demie, de la manière suivante :

On prend des *lopins en boîte* ayant pour formule GH $\frac{24}{12}$, c'est-à-dire quatre barres de *ferraille puddlée*, comme couverture-enveloppe, et *bidon* à l'intérieur, pesant de 60 à 80 kilogr. chaque. On en met huit à dix à la charge, et on les passe dans les cannelures 4e, 5e, 6e, 7e de l'ébaucheur *du gros mill* à douze cannelures. Ils en sortent *blettes* de 68 millimètres. On les coupe en deux à la cisaille, et on les remet immédiatement au four. Quand ils sont chauds, on les passe deux fois dans la 7e cannelure de l'ébaucheur, afin d'achever le soudage, et on les finit au moyen de quatre cannelures au finisseur.

2° *Prix de revient des rails à chaude et demie.* — Soient la fonte à 11 francs et le charbon à 2 francs les 100 kilogr., on a :

| | | |
|---|---|---|
| *Puddlage*, 114 fonte, à 11 francs. . . . . | 12 fr. | 50 c. |
| 70 houille, à 2 francs. . . . . | 1 | 40 |
| façon. . . . . | 1 | 50 |
| 100 kilogr. fer puddlé. . . . . | 15 | 40 |
| *Couverture* de 0,210 sur 0m.038, 116 kilogr. fer, à 15 fr. 40 c.. . . | 17 fr. | 86 c. |
| 60 houille, à 2 francs. . . . . | 1 | 20 |
| façon. . . . . | 1 | 30 |
| 100 kilogr. couverture. . . . . | 20 | 36 |
| *Paquet*, 34 kilogr. couverture, à 20 fr. 36 c. . . . . | 6 fr. | 90 c. |
| 66 fer brut, à 15 fr. 40 c. . . . . | 10 | 15 |
| 100 kilogr. paquet. . . . . | 17 | 05 |
| *Rail*, 118k.50 paquet, à 17 fr. 05 c. . . . . | 20 fr. | 25 c. |
| 60k.00 houille, à 2 francs. . . . . | 1 | 20 |
| façon. . . . . | 1 | 20 |
| | 22 | 65 |
| A déduire : 12 kilogr. bouts écrus à 15 fr. 40 c.. . . . . | 1 | 85 |
| | 20 | 80 |
| A ajouter : ajustage et réparation.. . . . . | 1 | 00 |
| frais généraux, fer brut. . . . . | 1 | 00 |
| fer ébauché. . . . . | 0 | 33 |
| fer fini.. . . . . | 1 | 00 |
| | 24 | 13 |



Digitized by Google

Pour rails de 5 mètres, pesant 38 kilogr. le mètre courant, le paquet pèse de 225 à 230 kilogr.; il y a deux paquets à la chaude par four, et on étire à chaude et demie, c'est-à-dire en remettant au four entre l'embauchage et le finissage. On travaille à trois fours, et chaque four fait ses 4,000 kilogr. en douze heures.

Quand le service est organisé pour une forte commande à exécuter sans interruption, le laminage se fait en une chaude.

Le paquet, ayant pour section 160 millimètres de haut sur 180 millimètres de large, se compose de six rangs de fer brut ordinaire de 18 millimètres d'épaisseur, renfermé entre deux couvertures de fer ébauché, même fer que l'intérieur, de 180 millimètres de large sur 35 à 40 millimètres d'épaisseur. Seulement, si la couverture était pleine, au lieu de figurer pour un tiers du poids dans le paquet, elle figurerait pour près de moitié; il faut donc, pour les paquets volumineux, avec couverture, avoir recours à une couverture spéciale dont il sera parlé ci-dessous.

3° *Des couvertures.* — Jusqu'à 18 centimètres de large, les couvertures se font toutes en une chaude; les épaisseurs sont :

| | |
|---|---|
| Pour largeur de 4°. . . . . | 7 à 8 lignes. |
| 5°. . . . . | 9 à 10 |
| 6°. . . . . | 11 à 12 |
| 7°. . . . . | 14 à 16 |
| 8°. . . . . | 17 à 18 |

Dans les grands échantillons, afin d'économiser la matière, on remplace le fer plat par un fer creux (pl. 35, fig. 122) qui se comporte exactement comme s'il était plein, en ce sens que c'est sur les bords principalement que les paquets nécessitent de l'épaisseur à la couverture.

Quand il s'agit de fabriquer des fers exigeant aux angles de la qualité à chaud, comme les fers à planchers, par exemple, dont l'intérieur se fait en fer de fonte au coke tout à fait inférieur, on procède de la manière suivante :

On fabrique la couverture avec un paquet (fig. 123) ayant, comme couverture *a a*, du fer brut de fonte de Champagne, et, à l'intérieur, du fer brut de fonte au coke à grain. On étire ce paquet en fer creux (fig. 124) comme précédemment, mais de champ, de manière à avoir le fer de fonte de Champagne dans les extrémités *aa*.

Il en résulte que, quand on a fait le paquet pour fer fini (fig. 125), le fer de fonte de Champagne se trouve aux quatre angles, et qu'on l'étire de plat ou de champ, les angles sont bons à chaud et ne criquent pas. Dans le cas de fer à plancher, on étire de champ et on obtient (fig. 126) :

Fer de fonte de Champagne aux quatre nervures;
Fer de fonte au coke à l'intérieur.

Ce genre de couverture mixte s'emploie rarement; c'est, généralement, quand il n'y a que quelques barres à faire qu'on y a recours, parce qu'alors les rebuts sont plus sensibles que quand on en a beaucoup. Or, dans la fabrication du fer, c'est surtout lors de la mise en train que l'on fait des rebuts; aussi vaut-il mieux avoir à exécuter de fortes commandes à bas prix que de petites commandes à prix élevé.

Les couvertures creuses de 7° de large se font en paquets de 150 kilogr.; on met 4 paquets à la charge et on fait 9 charges par 12 heures, ce qui, à 3 fours, représente un total de $5{,}400 \times 3 = 16{,}200$ kilogr. brut, et, déduction faite de la perte au feu, 15,000 kilogr. de couvertures ébauchées par 12 heures.

Digitized by Google

Ces couvertures pèsent 35 kilogr. le mètre courant, au lieu de 50 kilogr. que pèsent les couvertures pleines de même dimension.

4° *Résultats comparés des déchets résultant de la fabrication de* 1,000 *kilogr. de bandages à rebords, pour chemins de fer, en diverses qualités de fer.*

| NOMBRE DES BARRES sur lesquelles ON A OPÉRÉ. | NATURE DES FONTES. | ENTRÉE au PUDDLAGE. | | ENTRÉE AU FOUR DU MARTEAU. | ENTRÉE AU FOUR DU LAMINOIR. | ENTRÉE AU ROGNAGE. | ENTRÉE AU MAGASIN. | CONSOMMATION DU CHARBON. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Fonte. | Acier. | | | | | Puddlage. | Marteau. | Laminoir. | Totale. |
| | | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. |
| 92 | Périgord (Champagne) et fonte au coke..... | 1220 | 305 | 1425 | 1280 | 1240 | 1000 | 1225 | 1440 | 870 | 3535 |
| 43 | Corse..... | 1182 | 391 | 1390 | 1205 | 1160 | 1000 | 1050 | 1500 | 1080 | 3630 |
| 99 | Eurville (Champagne)..... | 1284 | 428 | 1560 | 1320 | 1215 | 1000 | 1245 | 2325 | 1020 | 4590 |
| 84 | Périgord..... | 1305 | 435 | 1510 | 1250 | 1210 | 1000 | 1400 | 2200 | 790 | 4390 |
| 92 | Corse..... | 1310 | 436 | 1540 | 1280 | 1241 | 1000 | 1165 | 2435 | 870 | 4470 |
| 101 | Tréveray (Champagne).... | 1140 | 380 | 1382 | 1235 | 1200 | 1000 | 1105 | 1620 | 635 | 3360 |
| 71 | Lopins de barres manquées..... | » | » | 1440 | 1305 | 1265 | 1000 | » | 1860 | 828 | » |
| 582 | Moyennes..... | 1189 | 396 | 1464 | 1268 | 1219 | 1000 | 1198 | 1911 | 870 | 3996 |

5° *Conversion de vieux bandages à rebord de chemins de fer en bandages neufs.*—Pour 1,000 kil. de bandages neufs :

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1° | Transport à l'usine, 1,300 kilogr. à 1 fr. | 1 fr. | 30 c. |
| | Déchargement et emmagasinage à 0 fr. 30 c. | 0 | 39 |
| 2° | Cassage des cercles ou sciage, 1,300 kilogr. à 7 fr. 30 c. | 9 | 50 |
| 3° | Martelage des bouts de cercles et dressage, 1,300 kil. à 13 fr. 30 c. les 1,000 kil. | 17 | 30 |
| 4° | Lopinage à 1 fr. les 1,000 kilogr., 1,300 kilogr. | 1 | 30 |
| 5° | Gouvernails, 5 pour 1,000, 6.5 kilogr. à 30 fr. les 100 kilogr. | 1 | 95 |
| 6° | Martelage, 1,300 kilogr. à 40 fr. | 52 | 00 |
| 7° | Laminage, 1,300 kilogr. à 21 fr. 65 c. | 28 | 20 |
| 8° | Charriage du charbon à 0 fr. 512 pour 1,000 kilogr. fer, soit pour 1,300 kil. | 0 | 67 |
| 9° | Sciage des rebords, 1,000 kilogr. | 3 | 85 |
| 10° | Raccommodage des rebords. | 5 | 50 |
| 11° | Recuisage. | 1 | 72 |
| 12° | Réception qualitative. | 0 | 98 |
| 13° | Façon des coins. | 1 | 12 |
| | Sciage. | 1 | 54 |
| | *A reporter.* | 127 fr. | 32 c. |

Digitized by Google

| | | |
|---|---|---|
| | *Report.* . . . . . | 127 fr. 32 c. |
| 14° | Transport. . . . . | 1 00 |
| 15° | Chargement. . . . . | 1 50 |
| 16° | Déchargement à la gare. . . . . | 0 40 |
| 17° | Entretiens divers. . . . . | 1 27 |
| | Débours. . . . . | 131 fr. 49 c. |
| | Frais généraux. . . . . | 62 30 |
| | | 193 fr. 79 c. |

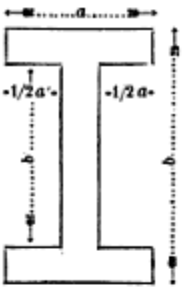
Net, 200 fr. par 1,000 kilogr.

En admettant que les bandages finis valent 50 fr. les 100 kilogr., on voit, par ce qui précède, que les vieux bandages ne valent pas plus que :

$$50 - 20 = 30 \text{ fr. les 100 kilogr.},$$

soit 23 fr. les 100 kilogr., sans bénéfice aucun pour le maître de forges; donc 20 fr. au plus, quand les neufs se payent 50 fr.

6° *Essais sur la résistance des fers à planchers.* — Les fers à planchers (pl. 33) sont des barres de fer à double T qui s'emploient aujourd'hui en concurrence avec le bois pour supporter les planchers, terrasses, toitures, ponts, etc. Ces fers, quoique supportant des charges variables, sont, par leur nature, appelés à supporter, par moments, une charge uniformément répartie correspondant à leur maximum de résistance. Par cette raison, la formule, au moyen de laquelle on calcule leurs dimensions, est la suivante, savoir :




$$\frac{P\,l}{8} = \frac{R\,(ab^3 - a'b'^3)}{6\,b},$$

dans laquelle on a :

P, charge totale supportée par la barre;
$l$, longueur de la barre en centimètres;
R, coefficient de résistance du fer;
$a$, $b$, $a'$, $b'$, dimensions de la section indiquée dans la figure ci-dessus en centimètres.

Le terme $\frac{ab^3 - a'b'^3}{6\,b}$, calculé sur les 13 modèles de fers à planchers représentés dans la pl. 33, a les valeurs suivantes, savoir :

Digitized by Google

| Numéros des figures. | Poids du mètre courant. Kilogr. | Valeurs de $\frac{ab^3 - a'b'^3}{6b}$ |
|---|---|---|
| 106. . . . . | 10.00 | 42 |
| 108. . . . . | 14.00 | 50 |
| 105. . . . . | 15.00 | 54 |
| 112. . . . . | 13.00 | 61 |
| 114. . . . . | 14.00 | 75 |
| 111. . . . . | 17.00 | 77 |
| 113. . . . . | 18.50 | 88 |
| 110. . . . . | 16.00 | 91 |
| 107. . . . . | 20.00 | 91 |
| 109. . . . . | 26.00 | 120 |
| 104. . . . . | 21.00 | 127 |
| 103. . . . . | 32.00 | 165 |
| 115. . . . . | 23.67 | 205 |

Désignant par $k$ l'expression $\frac{a\,b^3 - a'\,b'^3}{6\,b}$ variable, suivant les dimensions des échantillons, la formule se réduit à

$$\frac{P\,l}{8} = k\,R.$$

Trois quantités restent à déterminer, savoir : P, $l$, R.

On peut se donner la longueur $l$ ou le poids P. Quand l'une de ces quantités est donnée, il reste deux variables, dont l'une, déterminée par expérience, donne l'autre.

La valeur de R varie, au moment de la rupture, entre 4,000 et 6,000; si on charge seulement au 1/4 de la charge de rupture, on a pour R une valeur qui varie entre 1,000 et 1,500. Les expériences suivantes ont pour but de déterminer exactement la valeur que l'on peut donner à R, pour le moment où la flèche, que prend la barre chargée, est arrivée au maximum de hauteur qu'il est convenable de lui laisser prendre, sans qu'il y ait le moindre danger de déformation pour la pièce.

Après diverses expériences, nous avons trouvé que la flèche, qu'il convient de ne pas dépasser, est égale au $\frac{1}{700}$ de la longueur de la barre entre les points d'appui.

En outre, au lieu de charger uniformément, nous avons chargé au milieu, auquel cas la charge est moitié du poids, uniformément réparti, que peut supporter la barre.

Nous avons préféré cette méthode, attendu qu'il est plus facile de charger rigoureusement une barre en son milieu qu'uniformément, et que cela permet de déplacer moitié moins de poids.

Il suffit donc de multiplier par 2 les résultats en poids obtenus dans les expériences, pour déterminer la charge, uniformément répartie, que peut supporter la barre.

1re Expérience. — *Fers à planchers (fig. 112) pesant 13 kil. 75 le mètre courant.*

Longueur de la barre entre les points d'appui, 4m.99.

| Charges au milieu en kilogr., y compris le poids du plateau. | Flèches correspondantes. Millim. |
|---|---|
| 160. . . . . | 4 |
| 250. . . . . | 7 |

Digitized by Google

| Charges au milieu en kilogrammes, y compris le poids du plateau. | Flèches correspondantes. Millimètres. |
|---|---|
| 404.. | 11 |
| 616.. | 19 |
| 812.. | 25 |
| 932.. | 30 |
| 1052.. | 35 |

2e Expérience. — *Même fer que le précédent.*

Longueur de la barre entre les points d'appui, 8m.66.

| | |
|---|---|
| 57.. | 10 |
| 174.. | 16 |
| 431.. | 44 |
| 634.. | 80 |
| 788.. | 105 |
| 978.. | 140 |
| 1169.. | 215 |

A ce moment, la barre se tord à la nervure supérieure ; le dessous reste tendu.

3e Expérience. — *Fer à plancher (fig. 110) pesant 16 kilogr. 70 le mètre courant.*

Distance entre les points d'appui, 4m.25.

| | |
|---|---|
| 631. | 9 |
| 1234.. | 19 |
| 2122.. | 60 |

A ce point, la nervure du dessus se tord.

4e Expérience. — *Fer à plancher (fig. 104) pesant 19 kilogr. 40 le mètre courant.*

Distance entre les points d'appui, 4m.23

| | |
|---|---|
| 634.. | 6 |
| 1169.. | 12 |
| 1912.. | 19 |
| 2902.. | 30 |

5e Expérience. — *Fer à plancher (fig. 115) pesant 31 kilogr. 50 le mètre courant.*

Longueur entre les points d'appui, 6m.68.

| | |
|---|---|
| 1092.. | 15 |
| 1683.. | 24 |
| 2104.. | 33 |
| 2617.. | 41 |
| 3037.. | 49 |

Digitized by Google

6e Expérience. — *Fer à plancher (fig. 105) pesant 13 kilogr. 45 le mètre courant.*

Longueur entre les points d'appui, 5m,62.

| Charges au milieu en kilogr., y compris le poids du plateau. | Flèches correspondantes. Millimètres. |
|---|---|
| 477.. | 24 |
| 822.. | 42 |
| 1041.. | 55 |
| 1234.. | 67 |
| 1387.. | 82 |

A ce point, la nervure supérieure commence à se tordre.

7e Expérience. — *Fer à plancher (fig. 113) pesant 17 kilogr. le mètre courant.*

Longueur entre les points d'appui, 3m.72; la grande nervure en dessus.

| | |
|---|---|
| 1342.. | 18 |
| 2377.. | 39 |
| 2662.. | 65 |

Sans torsion.

8e Expérience. — *Fer à plancher (fig. 108) pesant 15 kilogr. le mètre courant.*

Longueur entre les points d'appui, 3m.44; la grande nervure en dessus.

| | |
|---|---|
| 950.. | 17 |
| 1387.. | 26 |
| 2422. Sans se tordre. | 180 |

9e Expérience. — *Fer à plancher (fig. 110) pesant 16 kilogr. 20 le mètre courant.*

Distance entre les points d'appui, 8m.16.

| | |
|---|---|
| 650.. | 45 |
| 1123.. | 80 |
| 1252.. | 115. |

L'arête supérieure se tord.

Nous déduisons de ces neuf expériences que les poids correspondants aux flèches $= \frac{1}{350}$ de la longueur entre les points d'appui sont :

Digitized by Google

| DÉSIGNATION DES FERS. | HAUTEURS DES SECTIONS. | LONGUEURS entre les POINTS D'APPUI. | FLÈCHES $\frac{1}{200}$ $l$. | POIDS SUPPORTÉS. |
|---|---|---|---|---|
| | Millim. | Mètres. | Millim. | Kilogr. |
| Figure 112. | 140 | 4.99 | 24.9 | 810 |
| Figure 112. | 140 | 8.66 | 43.3 | 430 |
| Figure 110. | 160 | 4.25 | 21.2 | 1250 |
| Figure 104. | 180 | 4.23 | 21.1 | 2000 |
| Figure 115. | 220 | 6.68 | 33.4 | 2110 |
| Figure 105. | 120 | 5.62 | 28.1 | 500 |
| Figure 113. | 140 | 3.72 | 18.6 | 1342 |
| Figure 108. | 110 | 3.44 | 17.2 | 950 |
| Figure 110. | 160 | 8.16 | 40.8 | 620 |

Remplaçant les poids et longueurs, dans la formule de la page 285, par leurs valeurs en chiffres, en substituant 4 à 8 au dénominateur, à cause de la charge au milieu, nous obtenons pour R les valeurs suivantes correspondant à une flèche $= \frac{1}{200}\ l$, savoir :

1° Fig 112. . . . . $\frac{810 \times 499}{4} = 61\ R$, d'où $R = 1655$

2° — 112. . . . . $\frac{430 \times 866}{4} = 61\ R \quad = 1520$

3° — 110. . . . . $\frac{1250 \times 425}{4} = 91\ R \quad = 1460$

4° — 104. . . . . $\frac{2000 \times 423}{4} = 127\ R \quad = 1670$

5° — 115. . . . . $\frac{2110 \times 668}{4} = 205\ R \quad = 1720$

6° — 105. . . . . $\frac{500 \times 562}{4} = 54\ R \quad = 1675$

7° — 113. . . . . $\frac{1342 \times 372}{4} = 88\ R \quad = 1663$

8° — 108. . . . . $\frac{950 \times 344}{4} = 50\ R \quad = 1637$

9° — 110. . . . . $\frac{620 \times 816}{4} = 91\ R \quad = 1390$

Moyenne. . . . . $R = 1600$

On a donc, pour poids uniformément réparti, la formule :

$$\frac{P\,l}{8} = 1600\,k$$

ou :

$$P\,l = 12800\,k$$

et le tableau suivant :

Digitized by Google

*Tableau des poids, uniformément répartis, que peuvent supporter les fers à planchers, pour différentes longueurs, sans que la flèche dépasse $\frac{1}{333}$ de la longueur entre les points d'appui.*

| NUMÉROS DES FIGURES (PL. 33). | HAUTEURS. | POIDS DU MÈTRE courant. | LONGUEURS ENTRE LES POINTS D'APPUI. | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1m | 2m | 3m | 4m | 5m | 6m | 7m | 8m | 9m | 10m | 11m | 12m | 13m | 14m | 15m |
| | Millim. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. |
| 108 | 110 | 14 | 6400 | 3200 | 2140 | 1600 | 1280 | 1066 | 915 | 800 | 712 | 640 | 581 | 532 | 492 | 458 | 427 |
| 106 | 120 | 10 | 5390 | 2695 | 1794 | 1347 | 1278 | 898 | 770 | 674 | 599 | 539 | 490 | 449 | 414 | 385 | 359 |
| 105 | 120 | 15 | 6920 | 3460 | 2306 | 1730 | 1384 | 1153 | 988 | 865 | 769 | 392 | 629 | 576 | 532 | 494 | 461 |
| 107 | 120 | 20 | 11650 | 5825 | 3883 | 2912 | 2330 | 1941 | 1664 | 1456 | 1294 | 1165 | 1059 | 970 | 896 | 832 | 776 |
| 114 | 140 | 14 | 9610 | 4805 | 3203 | 2403 | 1922 | 1601 | 1373 | 1201 | 1068 | 961 | 873 | 800 | 742 | 686 | 640 |
| 112 | 140 | 13 | 7810 | 3905 | 2903 | 1952 | 1762 | 1301 | 1116 | 976 | 868 | 781 | 710 | 650 | 601 | 558 | 520 |
| 111 | 140 | 17 | 9860 | 4930 | 3289 | 2465 | 1972 | 1643 | 1408 | 1232 | 1095 | 986 | 896 | 821 | 758 | 704 | 657 |
| 113 | 140 | 18.5 | 11300 | 5630 | 3766 | 2550 | 2260 | 1883 | 1614 | 1412 | 1255 | 1130 | 1027 | 941 | 869 | 807 | 753 |
| 110 | 160 | 16 | 11650 | 5825 | 3550 | 2912 | 2330 | 1941 | 1664 | 1456 | 1294 | 1165 | 1059 | 970 | 896 | 832 | 776 |
| 109 | 160 | 26 | 15400 | 7700 | 5133 | 3850 | 3080 | 2566 | 2200 | 1922 | 1711 | 1540 | 1400 | 1283 | 1184 | 1100 | 1026 |
| 104 | 180 | 21 | 16300 | 8150 | 5433 | 4075 | 3260 | 2716 | 2314 | 2037 | 1811 | 1630 | 1482 | 1358 | 1254 | 1157 | 1086 |
| 103 | 180 | 32 | 21150 | 10575 | 7383 | 5287 | 4230 | 3525 | 3021 | 2843 | 2350 | 2115 | 1922 | 1762 | 1627 | 1510 | 1410 |
| 115 | 220 | 25 | 26300 | 13150 | 8766 | 6575 | 5260 | 4383 | 3757 | 3287 | 2922 | 2630 | 2391 | 2191 | 2023 | 1878 | 1753 |

37

# TITRE III.

## DE LA FABRICATION DE LA TÔLE DE FER.

La tôle de fer est toujours du fer corroyé, en ce sens qu'elle est le résultat de l'étirage du fer soudé, soit en bloc, soit en barre, suivant le poids que doit affecter le produit fini.

On distingue trois espèces de tôles, savoir :

Les *grosses tôles*, ayant pour épaisseurs de 6 à 15 millimètres, rarement plus;

Les *tôles moyennes*, ayant pour épaisseurs de 1 à 6 millimètres;

Les *tôles fines*, ayant pour épaisseurs de 0$^{mm}$.1 à 1 millimètre.

Chacune de ces tôles nécessite un laminoir spécial; mais il n'en résulte pas, pour cela, que les tôles au-dessous de 6 millimètres se font toujours au laminoir moyen, et les tôles au-dessous de 1 millimètre se font toujours au petit laminoir. Comme la largeur du laminoir est, en quelque sorte, proportionnelle aux épaisseurs qu'ils sont appelés à fabriquer, il arrive fréquemment que le laminoir à grosses tôles fabrique des tôles de 5, 4, 3 et même 2 1/2 millimètres d'épaisseur, tandis que le laminoir à tôles moyennes descend, de son côté, jusqu'à 1/2 millimètre et dépasse rarement 1 millimètre 1/2. Cela tient principalement au mode de fabrication, comme nous le verrons plus loin. Il en résulte que si, au lieu de considérer les tôles d'après la résistance qu'elles opposent au *cisaillage*, comme ci-dessus, on les désigne d'après le nom du laminoir qui sert à les fabriquer, on peut dire que, généralement,

1° Toutes les tôles, au-dessus de 2 1/2 millimètres, se font au laminoir à grosse tôle;

2° Les tôles qui se font au laminoir moyen ont, presque toujours, des épaisseurs qui varient entre 1/2 et 1 1/4 millimètre;

3° Les laminoirs à tôles fines ne font presque que des tôles dont les épaisseurs varient entre 1/10 et 1/2 millimètre.

Les épaisseurs comprises entre 1 1/4 et 2 1/2 millimètres sont les moins usitées et les moins avantageuses à faire, parce qu'elles ne peuvent se faire qu'au laminoir moyen, en modifiant légèrement le procédé de fabrication.

Les diamètres des cylindres des laminoirs à tôle sont toujours plus forts que ceux du gros mill, par la raison qu'ils travaillent fréquemment sur toute leur longueur. Quoique de longueurs différentes, ils ne diffèrent pas entre eux et sont, généralement, de 0$^{m}$.50; cela tient à ce que plus les tôles sont grosses, plus elles se finissent *chaud* et moins elles exigent de serrage; plus les tôles sont fines au contraire, plus elles se finissent *froid* et plus elles exigent de serrage; il en est même, comme nous le verrons plus loin, qui se fabriquent à cylindres serrés à fond.

En général, les longueurs des laminoirs à tôles, pour le diamètre de 0$^{m}$.50, sont les suivantes :

*Grosses tôles*, de 1$^{m}$.40 à 1$^{m}$.70; pour longueurs au-dessus, il faut augmenter proportionnellement le diamètre des cylindres;

*Tôles moyennes*, de 1$^{m}$.00 à 1$^{m}$.25;

*Tôles fines*, de 0$^{m}$.50 à 0$^{m}$.65.

Digitized by Google

La vitesse des laminoirs à tôle doit être de 30 à 35 tours au plus par minute ; non pas qu'il soit impossible d'aller au delà, mais parce que le laminage de la tôle présente des difficultés de manœuvre qu'on ne rencontre pas dans les trains à fer marchand. En effet, tandis que, chez ces derniers, la pièce à passer, une fois introduite dans la cannelure, est guidée par les joues mêmes de ladite cannelure, ou par les guides que l'on ajoute de chaque côté, en dehors des cylindres, pour la tôle, au contraire, il en est tout différemment ; la pression varie à chaque passe et se règle à la main au moyen de deux vis, et, si l'une est plus serrée que l'autre, elle fait immédiatement dévier la feuille à la sortie du cylindre ; de plus, il n'y a pas de guides possibles, puisqu'il n'y a pas de côtés longitudinaux à la pièce, comme pour le fer en barres. Il en résulte que, quand on veut laminer vite, si la pièce s'engage de travers, avant qu'on ait eu le temps de lutter contre les conséquences de ce fait, on a cassé un cylindre.

---

## CHAPITRE PREMIER.

### DE LA FABRICATION DE LA GROSSE TÔLE.

On distingue sept qualités différentes de grosses tôles, savoir :

1° Les tôles, puddlé inférieur ;
2° Les tôles, puddlé ordinaire ;
3° Les tôles, bon puddlé ;
4° Les tôles, puddlé métis ;
5° Les tôles, fer fort ordinaire ;
6° Les tôles, fer fort supérieur ;
7° Les tôles, forgé.

Les tôles, *puddlé inférieur*, se fabriquent avec du fer puddlé de fonte au coke à facettes, $F^1F$ 53 ou 56, etc., et servent principalement à la construction des gazomètres et autres appareils analogues, n'exigeant de qualité ni à froid ni à chaud.

Les tôles, *puddlé ordinaire*, se fabriquent tantôt avec fer puddlé, de fonte au coke intermédiaire, $F^2F$ 52, tantôt, et le plus souvent, surtout quand la ferraille est à bon marché, en lopins de ferraille, avec couverture de puddlé mélangé intermédiaire, ébauché, soit : $E^2H \frac{4.5}{13.12}$. Elles servent principalement à la construction des parties non travaillées à chaud, des chaudières à vapeur, et doivent avoir assez de qualité à froid pour casser à nerf, quand on les plie perpendiculairement au sens du laminage, c'est-à-dire transversalement.

Les tôles *bon puddlé*, destinées aux mêmes usages que les précédentes, se fabriquent en $E^2H \frac{11}{12}$ et les remplacent pour tous les cas où la qualité est recommandée.

Les tôles, *puddlé métis*, se fabriquent soit en fer puddlé de fonte de Champagne, $D^2D$ 32, soit en lopins de ferraille choisie et couverture ébauchée de fonte Champagne, $D^2H \frac{11}{12}$ ; elles s'emploient pour toutes les parties des *chaudières, ponts, gazomètres*, etc., qui ont besoin d'être coudées à chaud ou soudées. Elles doivent avoir, à froid, la qualité du puddlé ordinaire et, à chaud, se couder sans criquer et souder.

Les tôles, *fer fort ordinaire*, se fabriquent en puddlé, soit de fontes fines et Champagne mélangées, soit de fontes fines pures $C^2C$ ou C, tantôt à grain, tantôt à nerf, suivant la demande.

Digitized by Google

mais pour chaudières, toujours à grain, et servent à la confection des pièces qui doivent être fortement travaillées et pliées complétement à chaud.

Les tôles, *fer fort supérieur*, se fabriquent en ferraille affinée au charbon de bois, B'B ou B, et servent aux mêmes usages que les précédentes, lorsque le travail à chaud nécessite, en plus, des emboutissages ordinaires.

Les tôles, *forgé*, se fabriquent en fontes fines affinées au charbon de bois, A'A ou A, et sont spécialement affectées aux emboutissages, soudages et contournages à chaud qui doivent affecter une grande qualité à froid.

La fabrication de la grosse tôle comporte deux opérations principales, savoir :

La préparation,
Le finissage.

La *préparation* consiste à convertir en un bloc soudé la pièce brute destinée à la fabrication du produit.

Le finissage consiste à étirer ce bloc aux dimensions exigées par la commande.

### § 1er. Des préparations pour grosses tôles.

Quand le poids des tôles ne dépasse pas 60 kilogr., les blocs ou *brames* se préparent à un laminoir à fer marchand, autant que possible, spécial. On fait des paquets de 6 pouces, tantôt sans couverture, tantôt avec couverture ébauchée, qu'on chauffe suant et soude, en quelques passes, tantôt à une chaude, tantôt à chaude 1/2 à ce laminoir.

Quand les tôles ont plus de 60 kilogr., on emploie soit des paquets, soit des lopins que l'on soude, à 1, 2, 3 et 4 chaudes, suivant leur poids et leur qualité, au *marteau-pilon*.

Pour les tôles, *puddlé ordinaire*, dont la consommation est dix fois celle de toutes les autres, on procède de la manière suivante, quand on emploie la ferraille : au lieu de faire autant de lopins qu'il y a de poids différents de tôles demandées, ce qui compliquerait énormément le travail et ne réussirait pas au soudage, attendu que les lopins de ferraille ne comportent pas tous les poids, on fait des lopins de 80, 90, 100, 110 et 120 kilogr., que l'on convertit d'avance en *brames*, au marteau-pilon, en quantité suffisante pour en avoir un fort approvisionnement.

Quand la tôle à fabriquer n'exige pas plus de 120 kilogr., on prend une brame; quand elle exige de 120 à 240 kilogr., on en prend deux; de 240 à 360, on en prend trois; rarement on dépasse ce poids, et, pour des poids supérieurs, il convient de faire des brames plus fortes. Nous verrons tout à l'heure comment ces brames se soudent entre elles pour ne faire qu'une seule tôle.

Pour les tôles, *fer fort* et *forgé*, il n'est pas possible de procéder de la même manière; nous verrons plus loin pourquoi. Ici, quel que soit le poids de la tôle, on ne doit employer qu'un seul paquet, le poids nécessaire dût-il être de 1,000 kilogr.

Les paquets pour tôle diffèrent des paquets pour fer marchand en ce que les trois dimensions diffèrent très-peu entre elles; cependant il ne conviendrait pas de leur donner une largeur dépassant 40 centimètres, à moins d'y être forcé, parce que le chauffage à cœur devient presque impossible; dans ce cas, c'est la longueur qui augmente.

Un des grands inconvénients que présente la fabrication des grosses tôles en fer de qualité supérieure est précisément dû à la nécessité dans laquelle on est de les préparer d'un seul morceau. On peut presque affirmer, en thèse générale, qu'une tôle forgée de 300 kilogr. n'est jamais soudée à cœur par suite de la température énorme qu'exige le soudage du fer fin et de l'impossibilité dans laquelle est l'ouvrier de faire pénétrer jusqu'au cœur du paquet cette température. On

Digitized by Google

cherche à résoudre ce problème en laissant les paquets dans les fours pendant quatre heures; on fait un déchet considérable; on détériore, presque à plaisir, une matière excellente, et on aboutit toujours à un résultat négatif. Comme cela ne se voit pas, la tôle s'écoule, s'emploie et, au bout d'un certain temps, est trouvée mauvaise parce qu'elle se dédouble. On accuse le maître de forges de donner de mauvaise marchandise, et on s'adresse à un autre qui, plus rusé, donne de la tôle de fonte tendre de Champagne plus facile à souder à cœur, qu'on trouve moins bonne à travailler, mais plus résistante dans le service. Il y a là un cercle vicieux dont on ne peut sortir qu'en faisant ce que nous avons conseillé à MM. *Petin* et *Gaudet*, et ce que ces messieurs se sont empressés de faire immédiatement, c'est-à-dire remplacer, pour chaudières à vapeur, les tôles de fer par la tôle d'acier fondu doux. Nous avons déjà parlé de cela; nous en reparlerons lorsqu'il sera question de la fabrication de l'acier. Nous ne croyons donc pas devoir nous étendre plus longuement sur ce sujet ici.

### § 2. Du finissage des grosses tôles.

Quand les tôles se composent de deux ou trois brames, on place ces trois pièces ensemble dans un four à réchauffer, et on les chauffe suant pour souder les parties qui ont résisté à la première chaude.

Ces pièces, qui ont environ 30 centimètres de large sur 50 de long et 10 d'épaisseur, sont ensuite laminées une à une jusqu'à 4 ou 5 centimètres d'épaisseur seulement; ce laminage, qui se fait dans les deux sens, a principalement pour but de les convertir en *plaques* ayant pour longueur la largeur que comporte la tôle toute finie.

Après cette première opération, les trois plaques sont replacées dans le four, mais l'une sur l'autre, de manière à former un paquet.

Une seconde chaude suante, ayant pour but de les souder ensemble, est donnée, et, après cette chaude, on les serre au laminoir en trois ou quatre passes, en ayant soin de ne pas trop étirer, afin de pouvoir remettre le paquet dans le four, ce que la porte ne permettrait pas s'il était trop large.

Une dernière chaude suante est ensuite donnée et suivie d'un étirage définitif aux dimensions voulues.

Ainsi les tôles puddlées ordinaires, dépassant 120 kilogr., exigent :

1° Une chaude au marteau pour convertir les loupins en *brames;*
2° Une chaude au laminoir pour convertir les brames en plaques;
3° Une chaude au laminoir pour souder les plaques ensemble;
4° Une chaude au laminoir pour étirer à la dimension voulue.

Quand la tôle se compose d'un seul paquet, si le métal est tendre, une chaude au marteau et une au laminoir suffisent pour la fabrication des produits; si, au contraire, le métal est réfractaire, il faut au moins deux chaudes au marteau et deux chaudes au laminoir.

Le plus désolant de cette fabrication, c'est que, quand la pièce est finie, il est rare que, sur trois, il n'y en ait pas une rebutée, soit pour pailles, soit pour soufflures, soit pour gravelures, soit pour criques dépassant la limite des bavures. Outre cela, il y a à considérer la question du déchet, qui n'est pas la moins intéressante.

Au marteau, en travail courant, le déchet est de 8 à 15 pour 100, suivant la nature du fer; d'où résulte que, pour avoir des brames de 100 kilogr., il faut prendre des paquets de 110 à 115 kilogr. Au laminoir, c'est autre chose; pour avoir 100 kilogr. rognés, il ne faut pas mettre moins de 170 et le plus souvent 175 kilog. au paquet; sur ces 75 kilog. supplémentaires, moitié

Digitized by Google

environ disparaît dans le four, tant la chaleur y est intense, l'autre moitié tombe en rognures à la cisaille.

Malgré ce déchet considérable, il y a encore, comme nous le disions tout à l'heure, un tiers de rebut environ. Il est vrai que ce rebut n'est pas absolu et est seulement relatif, en ce sens que, si la pièce rebutée ne peut convenir pour les dimensions demandées, elle peut convenir pour d'autres plus petites.

Aussi, quand arrive une commande de tôle, la première chose à faire est non d'aller commander les brames nécessaires, mais de visiter le chantier des rebuts. Quand on trouve bien pour la qualité et l'épaisseur, il ne reste plus qu'à tracer la quantité à rogner pour obtenir les deux autres dimensions; quand on trouve bien pour la qualité et la longueur ou la largeur, on met la pièce dans un four dormant dit *four à rallonger*. C'est un four soit à réverbère (pl. 36, fig. 128, 129), soit dormant (fig. 130, 131, 132, 133), dans lequel on introduit la pièce à amincir et on l'y chauffe au rouge-cerise; on l'allonge ensuite au laminoir dans le sens convenable, jusqu'à ce que son épaisseur soit celle que l'on désire.

Au sortir du laminoir, les tôles que l'on suppose réussies sont immédiatement portées au four à recuire. C'est un four analogue aux précédents, dont le chauffage a exclusivement pour but de détruire l'aigreur que l'écrouissage a communiquée au métal. Plus que toutes les autres, à notre avis, les grosses tôles devraient subir le recuit en vase clos, à cause de la quantité d'oxygène que la plupart d'entre elles retiennent en dissolution à la surface; mais c'est un problème presque insoluble non-seulement parce qu'elles affectent toutes dimensions, mais encore parce que le vase clos, suffisamment réfractaire, de la dimension que cette opération comporte, est encore à trouver. Le faire en fonte serait insuffisant et ruineux.

Quand les tôles sont brûlées sur une petite épaisseur, on le reconnaît, dès qu'on les plie, par les cassures qui se manifestent de toutes parts à la surface; ces cassures, qui, la plupart du temps, ne se détachent pas en écailles, ressemblent, à s'y méprendre, au tressaillement des poteries dont la couverte a une dilatation qui n'est pas en rapport avec celle de l'intérieur, les faïences communes par exemple.

Quand les tôles ont été recuites pendant une demi-heure au rouge-cerise, on les retire du four et on les dresse, avec des maillets en bois, sur une plaque en fonte (fig. 134, 135 ou 136, 137, 138) qui n'est pas non plus un problème résolu, attendu que, quand elle est mince, elle se casse sous l'influence des inégalités de dilatation; quand elle est épaisse, elle se voile; quand elle est percée de trous, elle se casse moins vite que la première, mais elle se casse aussi.

Celles qui réussissent le moins mal sont les plaques épaisses (fig. 134, 135) à trous, en plusieurs parties et recouvrant une cave; la chaleur des feuilles de tôle déposées dessus se transmet rapidement, par les trous, dans les régions inférieures et favorise l'échauffement de la surface non en contact avec la tôle.

Après le recuit, les tôles passent au *cisaillage*.

Les *cisailles à grosse tôle* se construisent de diverses manières : les unes ont la queue dans le sol; ce sont, de beaucoup, les préférables, en ce sens qu'elles ne gênent pas la circulation de quatre, cinq, six et quelquefois huit hommes qui tiennent la tôle à découper : d'autres ont la queue horizontale; ce sont les plus incommodes : enfin une troisième espèce a la queue en l'air.

Ces diverses dispositions dépendent, le plus souvent, du mode de transmission de mouvement adopté.

Digitized by Google

### § 3. Renseignements généraux.

Par suite du chauffage prolongé auquel il faut soumettre le fer pour la fabrication de la grosse tôle, les couvertures que l'on emploie doivent être fort épaisses; il en résulte que la proportion de fer ébauché nécessaire, quand on emploie la ferraille, constitue près de la moitié du poids des lopins.

Ainsi nous trouvons, dans nos notes que, pour un lopin de bidon de 100 kilogr., il y a 49 kilogr. de couverture, soit en fer brut, soit en fer ébauché; pour un lopin de 150 kilogr., il y en a 57, et, pour un lopin de 200 kilogr., il y en a 69.

On voit, par là, qu'il y aurait avantage à augmenter le poids des lopins; mais il faudrait, pour cela, que l'on pût faire la grosse tôle à dimensions fixes, comme cela a lieu pour les tôles moyennes et fines; mais cela a été jusqu'ici à peu près impossible. Les chaudronniers ne commandent que ce qui leur est strictement indispensable, et font tout ce qu'ils peuvent pour n'avoir pas à rogner sur la tôle qu'ils achètent.

Quand on remplace le bidon par des rognures aplaties de grosse tôle $g\ A^r$, $g\ B^r$, $g\ C^r$, etc., la couverture constitue, à elle seule, les 0.55 du poids total, c'est-à-dire qu'il y a plus de couverture que d'intérieur; cela tient à la porosité de l'intérieur, qui ne peut se remplir aussi complétement qu'avec de la ferraille.

Voici les poids et dimensions des lopins de ferraille avec couverture en fer puddlé brut.

| POIDS DES LOPINS. | LONGUEUR. | LARGEUR. | HAUTEUR. |
|---|---|---|---|
| Kilogr. | Mètre. | Mètre. | Mètre. |
| 110 | 0.50 | 0.27 | 0.27 |
| 120 | 0.50 | 0.27 | 0.28 |
| 130 | 0.50 | 0.27 | 0.29 |
| 145 | 0.50 | 0.27 | 0.30 |
| 160 | 0.50 | 0.27 | 0.31 |
| 190 | 0.50 | 0.35 | 0.32 |
| 250 | 0.50 | 0.35 | 0.33 |

Les cylindres à grosses tôles diffèrent des cylindres à tôles moyennes et fines en ce qu'ils sont toujours en fonte douce, tandis que les autres sont en fonte trempée. Cela tient à ce que les cylindres trempés, s'ils ont l'avantage de communiquer à la tôle un beau poli, ont, en revanche, l'inconvénient de gonfler beaucoup plus que les autres sous l'influence de la température, d'être plus fragiles et, surtout, plus susceptibles de s'écailler sous l'influence de la température; ils coûtent, en outre, beaucoup plus cher d'établissement et d'entretien. Comme les grosses tôles sont généralement destinées soit à la confection des chaudières à vapeur, soit à la construction d'appareils qui doivent recevoir une couche de peinture, la rugosité que leur communique la fonte grise, loin d'être un défaut, est une qualité; car, d'une part, le pouvoir rayonnant est plus grand, et, d'autre part, l'adhérence des peintures est plus facile.

Digitized by Google

Dans quelques forges, on a deux paires de cylindres, l'une pour ébaucher, l'autre pour finir. Outre que cette disposition nécessite une forte fabrication, parce qu'il ne faut pas laisser les cylindres se refroidir, aussi bien dans l'intérêt de la régularité des pièces à finir que pour éviter la casse, il y a encore la nécessité d'entretenir deux personnels, dont l'un d'ébaucheur et l'autre de finisseur, qui ne peuvent se suppléer mutuellement en cas d'absence, et qu'il est plus difficile de mettre aux pièces. En général, quoique les lamineurs aient le plus souvent l'entretien de leurs cylindres, ils aiment mieux, au risque de les user plus vite, ébaucher et finir au même laminoir que de partager cette besogne entre deux laminoirs.

Un four à finir fait, en moyenne, 2,000 kilogr. par douze heures, soit 4,000 kilogr. par vingt-quatre heures ; si, dans ce chiffre, on fait intervenir les pièces rebutées et le temps perdu pour casses de cylindres, on arrive définitivement à une moyenne de 2,500 kilogr. rognés par vingt-quatre heures.

Un appareil qui est indispensable pour la fabrication de la grosse tôle, même ne dépassant pas 60 kilogr., est le rattrapeur mécanique mû soit à bras, soit par le moteur même. C'est une espèce de levier à fourche très-large et bras de longueur variable, qui reçoit la tôle au sortir du cylindre et l'élève au-dessus du cylindre supérieur, point où la reprennent les lamineurs pour la ramener devant, en ayant soin de la faire passer sur ce même cylindre, dont le mouvement de rotation la pousse en avant.

Les fig. 139, 140, 141, 142 (pl. 37) représentent une paire de cages de laminoir à grosse tôle, suffisante pour cylindre de 60° de long. Dans ce cas, les trèfles (pl. 35, fig. 127) ont 32 centimètres de diamètre extérieur. Comme il serait très-dispendieux d'avoir des cages, manchons, arbres différents pour les trois espèces de laminoirs à tôle ; comme, en outre, les diamètres des cylindres sont les mêmes dans les trois cas, il n'existe réellement de différence entre les trois laminoirs à tôle que dans la longueur de la table et dans la trempe.

Une bonne précaution à prendre, dans les forges, pour faire servir le plus longtemps possible les cylindres qui ne se sont pas cassés, c'est d'avoir deux dimensions officielles de trèfles à tous les trains (fig. 127), savoir :

Les trèfles neufs,
Les trèfles réparés.

De cette façon on a pour chacun d'eux, et faites d'avance, deux dimensions de manchons et d'arbres de rechange.

Les épaisseurs que l'on peut donner aux feuilles de tôle dépendent beaucoup de leur largeur, de leur longueur et de la force motrice disponible. Ainsi, en supposant une table de 60° (1m.625), et une force motrice de 300 chevaux, une épaisseur de 4 millimètres ne comporte pas une largeur dépassant 1m.32 sur une longueur de 4m.00 rognée.

Voici, à peu près, les limites de la fabrication dans ce cas :

1° *Tableau des largeurs* maxima *et épaisseurs* minima *correspondant auxdites largeurs, pour des longueurs données, au laminoir à tôle de* 60 *pouces.*

| Longueurs Mètres. | Largeurs maxima. Mètres. | Épaisseurs minima Millim. |
|---|---|---|
| 15.00 | 0.50 | 8.4 |
| 14.00 | 0.58 | 8.2 |
| 13.00 | 1.66 | 8.0 |
| 12.00 | 0.74 | 7.8 |

Digitized by Google

| Longueurs. Mètres. | Largeurs maxima. Mètres. | Épaisseurs minima. Millim. |
|---|---|---|
| 11.00 | 0.82 | 7.6 |
| 10.00 | 0.90 | 7.4 |
| 9.00 | 0.98 | 7.2 |
| 8.00 | 1.06 | 7.0 |
| 7.00 | 1.14 | 6.8 |
| 6.00 | 1.22 | 6.6 |
| 5.00 | 1.30 | 6.4 |
| 4.00 | 1.38 | 6.2 |
| 3.00 | 1.46 | 6.0 |
| 2.00 | 1.48 | 5.5 |
| 1.00 | 1.50 | 5.0 |

2° *Tableau des épaisseurs* minima *et des longueurs* maxima *correspondantes, pour des largeurs données, au laminoir de* 60 *pouces.*

| Largeurs. Mètres. | Épaisseurs minima. Millim. | Longueurs maxima. Mètres. |
|---|---|---|
| 0.50 | 2.00 | 6.00 |
| 0.58 | 2.20 | 5.80 |
| 0.66 | 2.40 | 5.60 |
| 0.74 | 2.60 | 5.40 |
| 0.82 | 2.80 | 5.20 |
| 0.90 | 3.00 | 5.00 |
| 0.98 | 3.20 | 4.80 |
| 1.06 | 3.40 | 4.60 |
| 1.14 | 3.60 | 4.40 |
| 1.22 | 3.80 | 4.20 |
| 1.30 | 4.00 | 4.00 |
| 1.38 | 4.25 | 3.50 |
| 1.46 | 4.50 | 3.00 |
| 1.48 | 4.75 | 2.75 |
| 1.50 | 5.00 | 2.50 |

Les grandes longueurs sont toutes faites à l'aide du four à rallonger; on ne pourrait les obtenir d'une seule chaude au sortir du four à souder.

Nous terminerons ce qui est relatif à la grosse tôle par le détail des poids et prix des pièces en *fonte, fer* et *cuivre* qui entrent dans la composition d'un train de laminoir servant à cette fabrication :



Digitized by Google

*Coût d'un train de 2 laminoirs accouplés, l'un pour grosse tôle et l'autre pour tôle moyenne.*

| | POIDS. | PRIX des 100 kilogr. | SOMMES partielles. | SOMMES totales. |
|---|---|---|---|---|
| **FONTE.** | Kilogr. | | | |
| 1 Banc de 5m.50 de long. . . . . | 6,612 | | | |
| 1 Banc de 4m.00 dito. . . . . | 5,562 | | | |
| 2 Échappements. . . . . | 868 | | | |
| 1 Arbre d'échappement. . . . . | 304 | | | |
| 1 Crapaudine de dito. . . . . | 314 | | | |
| 1 Boite de dito. . . . . | 267 | | | |
| 1 Cage pour pignons. . . . . | 2,028 | | | |
| 1 Couvercle dito. . . . . | 277 | | | |
| 1 Cage dito. . . . . | 2,018 | | | |
| 1 Couvercle dito. . . . . | 276 | | | |
| 2 Boites de milieu pour coussinets. . . . . | 203 | | | |
| 4 Boites de côté dito. . . . . | 128 | | | |
| 4 Arbres d'échappement. . . . . | 1,216 | | | |
| 8 Boites dito. . . . . | 2,140 | | | |
| 4 Cages de cylindres. . . . . | 13,400 | | | |
| 4 Boites pour dessus. . . . . | 404 | | | |
| 4 Boites pour côtés. . . . . | 64 | | | |
| 3 Taques en fonte. . . . . | 378 | Prix. | Fr. | |
| | 36,459 | 23 fr. 0/0 | 8,385.57 | |
| 2 Pignons tournés, 0m.50 de diamètre. . . . | 2,024 | 33 fr. 0/0 | 667.92 | |
| 2 Cylindres de 60c coulés en sable cuit. . . | 5,489 | 46 fr. 0/0 | 2,524.94 | Fr. |
| 2 Cylindres de 40c coulés en coquille. . . . | 3,656 | 55 0/0 | 2,010.80 | 13,589.23 |
| **FER FORGÉ.** | | | | |
| Total des pièces en fer forgé pour cylindres. | 679 | | | |
| 2 Leviers. . . . . | 337 | | | |
| 4 Vis de pression et leurs boites. . . . . | 676 | | | |
| Total des pièces pour pignons. . . . . | 212 | | | |
| | 1,904 | 50 fr. 0/0 | 952 00 | 952.00 |
| **CUIVRE.** | | | | |
| 8 Coussinets pour côtés. . . . . | 36 | | | |
| 2 Coussinets pour dessus. . . . . | 37 | | | |
| 2 Coussinets pour milieu. . . . . | 37 | | | |
| 2 Coussinets pour le bas. . . . . | 90 | | | |
| 4 Coussinets pour dessus. . . . . | 74 | | | |
| 4 Coussinets pour côtés. . . . . | 18 | | | |
| 4 Coussinets pour le bas. . . . . | 180 | | | |
| 2 Coussinets pour leviers. . . . . | 25 | | | |
| | 497 | 400 fr. 0/0 | | 1,998.00 |
| MONTANT TOTAL. . . . . | . . . . . | . . . . . | . . . . . | 16,529.23 |

Digitized by Google

## CHAPITRE II.

### DE LA FABRICATION DE LA TOLE MOYENNE.

La tôle moyenne est caractérisée par deux types de dimensions principales, savoir :

Les tôles de 24° sur 60°, dites $\frac{11}{10}$.
Les tôles de 24° sur 36°, dites $\frac{11}{11}$.

Mais ces dimensions sont loin d'être les seules que l'on fabrique au laminoir à tôle moyenne ; tout ce qu'on peut dire, c'est qu'on n'emploie, pour la recuite, en vase clos, de ces tôles que deux dimensions de boîtes, savoir :

Les boîtes à recuire pour les $\frac{11}{10}$ ;
Les boîtes à recuire pour les $\frac{11}{11}$.

Lors donc que les dimensions des tôles moyennes dépassent 0m.65 en largeur ou 1m.625 en longueur, on ne les recuit pas en vase clos, mais simplement dans des fours, comme les grosses tôles, ce qui est insuffisant, mais ce qu'il est indispensable de subir, attendu que, si le problème du recuit des grosses tôles en vase clos n'est pas résolu, celui des tôles moyennes ne l'est que très-imparfaitement.

Quand, au contraire, les dimensions des tôles moyennes sont inférieures à celles des tôles types, le nombre qu'on en met dans les boîtes à recuire n'est pas plus considérable que celui de ces dernières, et la dépense du recuit est la même, c'est-à-dire plus élevée par 100 kilogrammes de produit fini.

Laissant de côté la tôle moyenne à dimensions extra, nous n'allons nous occuper que de la fabrication de la tôle moyenne ordinaire et choisirons, de préférence, la plus usitée, c'est-à-dire la tôle de $\frac{11}{10}$, soit 0m.65 sur 1m.625. Disons de suite que la tôle $\frac{11}{11}$ n'a été inventée que pour utiliser les rebuts de la première.

La tôle $\frac{11}{10}$ se fabrique généralement, à moins de recommandations particulières, en fer de qualité bon ordinaire, E 42, et à toutes épaisseurs, depuis 1/2 jusqu'à 2 millimètres. C'est donc, de tous les produits envisagés jusqu'ici, le seul qui puisse se faire d'avance et en quantités assez notables pour donner des bénéfices, quoique vendu à un prix relativement moindre que les autres échantillons.

La surface de la tôle $\frac{11}{10}$ est :

$$0.65 \times 1.625 = 1^{m.q.}.05625.$$

Le millimètre d'épaisseur pèse donc 8 kilogr. Comme, entre les épaisseurs extrêmes, indiquées plus haut (page 290), il existe de 25 à 30 épaisseurs différentes, on est dans l'usage de désigner ces tôles non par leur épaisseur, qui serait fort difficile à déterminer exactement, mais par leur poids. Les poids des tôles $\frac{11}{10}$ varient donc entre 4 et 16 kilogr. en échantillons ordinaires.

Pour fabriquer ces tôles, on prend des paquets, le plus souvent des lopins de bouts de barres avec couvertures en fer brut, que l'on soude et étire en plats à différentes largeurs et épaisseurs, suivant le poids que doivent affecter les tôles finies. On coupe ensuite ces barres en morceaux de 0m.70 de long, c'est-à-dire 0m.65, plus 5 centimètres pour les bavures. Lorsque le dernier morceau coupé, à chaque barre, bouts écrus affranchis, a moins de 70 centimètres, on l'emploie

Digitized by Google

néanmoins; seulement il subit au laminoir à tôle un petit étirage qui l'amène à 0m.70 de long et sert pour des tôles $\frac{11}{10}$ d'un poids moindre.

Les morceaux ainsi découpés portent le nom de *platines;* souvent même on leur conserve le nom de morceaux. On les place, en nombre variable, suivant leur poids, soit dans un four à réverbère (pl. 36, fig. 128, 129), soit dans un four dormant (fig. 130, 131, 132, 133) chauffé au rouge clair, et on les lamine de la manière suivante :

1re chaude, à un à la fois ;
2e *id.* à deux *id.*

Si à deux ils n'ont pas la longueur voulue, on leur donne une troisième chaude à 3 ou à 4, suivant le cas, puis une quatrième à 5, et même une cinquième et une sixième à 6, suivant leur poids, comme l'indique le tableau ci-contre :

Digitized by Google

*Tableau du laminage des tôles ordinaires dites $\frac{24}{40}$, ayant 0m,65 de large sur 1m.625 de long.*

| FEUILLES. | | MORCEAUX (DENSITÉ, 5.4). | | | | QUANTITÉ DE MORCEAUX COMPOSANT LES PAQUETS A CHAQUE RÉCHAUFFAGE. | | | | | | EN 12 HEURES A 1 LAMINOIR. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ÉPAISSEURS. | POIDS. | LARGEURS. | ÉPAISSEURS. | POIDS. | NOMBRE par charge. | 1re CHAUDE. | 2e CHAUDE. | 3e CHAUDE. | 4e CHAUDE. | 5e CHAUDE. | 6e CHAUDE. | NOMBRE de charges. | NOMBRE de feuilles. | POIDS rogné. |
| Millim. | Kilogr. | Millim. | Millim. | Kilogr. | | | | | | | | | | Kilogr. |
| 0.50 | 4.0 | 108 | 8.15 | 4.8 | 30 | 1 | 2 ou 3 | 4 ou 5 (1). | 5 | 6 | 6 | 6 | 180 | 720 |
| 0.56 | 4.5 | id. | 9.15 | 5.4 | id. | id. | id. | id. | id. | id. | | id. | id. | 810 |
| 0.62 | 5.0 | id. | 10.20 | 6.0 | id. | id. | id. | id. | id. | | | id. | id. | 900 |
| 0.69 | 5.5 | id. | 11.20 | 6.6 | id. | id. | id. | id. | id. | | | id. | id. | 990 |
| 0.75 | 6.0 | id. | 12.20 | 7.2 | id. | id. | id. | id. | id. | | | id. | id. | 1080 |
| 0.81 | 6.5 | 135 | 10.80 | 7.8 | id. | id. | id. | id. | | | | id. | id. | 1170 |
| 0.87 | 7.0 | id. | 11.45 | 8.4 | id. | id. | id. | id. | | | | id. | id. | 1260 |
| 0.94 | 7.5 | id. | 12.30 | 9.0 | id. | id. | id. | id. | | | | id. | id. | 1350 |
| 1.00 | 8.0 | id. | 13.10 | 9.6 | 24 | id. | id. | id. | | | | 7 | 210 | 1680 |
| 1.06 | 8.5 | id. | 14.00 | 10.2 | id. | id. | id. | id. | | | | id. | id. | 1780 |
| 1.12 | 9.0 | 162 | 12.20 | 10.8 | id. | id. | id. | id. | | | | id. | id. | 1890 |
| 1.19 | 9.5 | id. | 13.00 | 11.4 | id. | id. | id. | id. | | | | id. | id. | 1990 |
| 1.25 | 10.0 | id. | 13.55 | 12.0 | id. | id. | 2 | 3 | | | | id. | 168 | 1680 |
| 1.31 | 10.5 | id. | 14.40 | 12.6 | id. | id. | id. | | | | | id. | id. | 1770 |
| 1.38 | 11.0 | id. | 14.90 | 13.2 | id. | id. | id. | | | | | id. | id. | 1850 |
| 1.44 | 11.5 | 189 | 13.50 | 13.8 | id. | id. | id. | | | | | id. | id. | 1910 |
| 1.50 | 12.0 | id. | 13.90 | 14.4 | id. | id. | id. | | | | | 8 | 192 | 2310 |
| 1.56 | 12.5 | id. | 14.70 | 15.0 | id. | id. | id. | | | | | id. | 128 | 1600 |
| 1.62 | 13.0 | id. | 15.08 | 15.6 | 16 | id. | id. | | | | | id. | id. | 1670 |
| 1.69 | 13.5 | id. | 15.90 | 16.2 | id. | id. | id. | | | | | id. | id. | 1730 |
| 1.75 | 14.0 | 216 | 14.25 | 16.8 | id. | id. | id. | | | | | id. | id. | 1800 |
| 1.81 | 14.5 | id. | 14.80 | 17.4 | id. | id. | id. | | | | | id. | id. | 1850 |
| 1.88 | 15.0 | id. | 15.25 | 18.0 | 12 | id. | id. | | | | | id. | 96 | 1440 |
| 1.94 | 15.5 | id. | 15.80 | 18.6 | id. | id. | id. | | | | | id. | id. | 1490 |
| 2.00 | 16.0 | id. | 16.25 | 19.2 | id. | id. | id. | | | | | id. | id. | 1530 |

(1) 4 après 2, 5 après 3.

Digitized by Google

Comme on le voit, par les poids des morceaux, en regard de ceux des feuilles, il y a 29 pour 100 de déchet au feu et au rognage. La perte au feu est insignifiante, parce que le chauffage ne dépasse pas la température rouge; mais il ne faudrait pas conclure de là que 120 kilogr. de morceaux donnent, pratiquement, 100 kilogr. de fer et 20 kilog. de rognures, attendu qu'il y a non-seulement les tôles détériorées dans les fours qu'il faut étirer plus mince pour les faire servir, mais encore les rebuts qui sont abandonnés aux lopineurs, pour faire des enveloppes de lopins. En travail, on compte 125 en morceaux pour 100 en feuilles finies et 25 en rognures, rebuts et perte au feu. Les rebuts sont d'environ 5 pour 100.

Les tôles $\frac{14}{16}$ se font au laminoir, dont les cylindres trempés ont 40° (108 centimètres) de table. La limite supérieure des largeurs que peuvent faire ces cylindres est 0m.95; dans ce cas, la longueur 24° (1m.625) est un *maximum* et l'*épaisseur* 1 millimètre est un *minimum*. La limite supérieure des longueurs est 3m.00; dans ce cas, la largeur *maxima* est 0m.80 et l'épaisseur *minima* 1mm.5. La vitesse de rotation des cylindres est, comme nous avons dit plus haut, de 30 à 35 tours.

L'ébauchage et le finissage se font au même laminoir. Chaque laminoir occupe deux fours, dont l'un est, exclusivement, affecté au chauffage des morceaux et l'autre au chauffage des platines ébauchées et à rallonger.

Nous n'avons pas l'intention de décrire ici, pas plus que nous ne l'avons fait pour le fer et la grosse tôle, toutes les précautions que prend l'ouvrier pour réussir dans son travail; cependant il convient que nous disions quelques mots sur les deux méthodes de laminage des tôles moyennes, qui sont concurremment employées dans les forges.

La fabrication des tôles moyennes, dans les données du tableau ci-dessus, a exclusivement pour but de fabriquer le maximum de produit, dans un temps donné. A cet effet, l'étirage se fait à une température où l'oxygène a une certaine action sur le métal et l'oxyde ; il en résulte que les surfaces des feuilles qui n'ont pas été finies au contact des cylindres sont rugueuses et ternes, tandis que les deux autres sont polies ; de plus, les tôles affectent toutes les couleurs, depuis le gris jusqu'au rouge de peroxyde, quand elles sont refroidies ; aussi le recuit en vase clos est-il indispensable, comme nous le verrons tout à l'heure, pour leur communiquer une teinte uniforme.

Une autre méthode de fabrication de la tôle ordinaire consiste, comme pour la tôle d'acier, à chauffer très-peu chaque fois, pour allonger, mais à donner plus de chaudes et à mettre successivement toutes les surfaces des feuilles composant les paquets en contact avec les cylindres; cette méthode, dite des *Ardennes*, permet généralement de supprimer le recuit en vase clos, et donne des feuilles polies qui ont toutes la même teinte bleue recherchée par le commerce.

Elle consiste à faire les paquets, pour finir, beaucoup plus considérables que par la méthode précédente, et à changer les feuilles de place à chaque passe au laminoir.

Soit, par exemple, à fabriquer des tôles de 0m.38 sur 1 mètre, pesant environ 1 kilogr. la feuille :

On fait les charges au four à ébaucher à deux cent quarante morceaux; quand les morceaux sont chauds, on en prend trois que l'on ébauche simultanément, en les passant d'abord un à un successivement, puis ensuite à trois, de la même chaude, en ayant soin, à chaque passe, de faire passer tantôt la feuille de dessus dessous, tantôt la feuille de dessous dessus, de telle sorte que les trois feuilles occupent successivement, et autant de fois chacune, les trois positions.

Cela fait, on met ces feuilles au four à finir, et par paquets de 6 ou 8 feuilles; quand tous les morceaux sont ébauchés, on les allonge à 6, en deux chaudes, pour finir à 12, en deux chaudes également, ou à 8 en une chaude, pour finir à 16 en trois chaudes, ce qui fait :

Digitized by Google

| | | |
|---|---|---|
| Ébauchage. . . . . | 1/2 | chaude à 1, |
| | 1/2 | chaude à 3; |
| Finissage. . . . . | 1re 2 | chaudes à 6, |
| | 2 | chaudes à 12; |
| Total. . . . . | 5 | chaudes; |
| | 2e 1 | chaude à 8, |
| | 3 | chaudes à 16; |
| Total. . . . . | 4 | chaudes. |

Le premier finissage convient pour les épaisseurs un peu fortes, le second pour les tôles minces. On comprend, en effet, que plus il y a de feuilles réunies, plus elles gardent longtemps la chaleur; comme les tôles minces se refroidissent plus vite que les fortes, le seul moyen de les conserver aussi longtemps à la même température que les précédentes consiste simplement à en mettre un plus grand nombre au paquet. C'est, en outre, un moyen d'étirer plus mince au laminoir.

Quand les feuilles sont à 16, la première chaude permet de les amener à la longueur voulue, brut, soit 1m.12, mais il faut trouver les rognures; la seconde chaude leur fait atteindre 1m.20, et la troisième 1m.25.

Ce qui fait surtout le mérite de cette méthode, c'est que les feuilles, occupant toutes successivement des positions identiques, sortent du laminoir parfaitement égales d'épaisseur, ce qui est très-important quand elles sont commandées à dimensions spéciales.

Dans la méthode ordinaire précédemment décrite, si on prend des morceaux pour faire des feuilles de 24/60, pesant 5 kilogr. chaque, et tare ces dernières une à une, après le rognage, on en trouve qui pèsent tantôt moins, tantôt plus que le poids voulu; cela est sans inconvénient, parce que, comme ces feuilles se font d'avance, il suffit de les tarer toutes à leur entrée au magasin, pour ne livrer jamais au commerce que ce qu'il demande. Mais, quand les feuilles sont commandées à certaines dimensions et certains poids, si les poids ne sont pas ceux qui ont été demandés, on les refuse. Or, par la méthode ordinaire, bien qu'on alterne fréquemment les positions des feuilles dans les paquets, il en est toujours qui s'étirent plus que les autres, et, par conséquent, pèsent moins. On comprend, en effet, que la température des surfaces en contact avec les cylindres est, après et souvent avant la première passe, inférieure à celle de l'intérieur; les feuilles de l'intérieur des paquets doivent donc toujours s'étirer plus que celles de l'extérieur, et on ne peut arriver à égaliser les longueurs que par une méthode d'étirage analogue à celle des Ardennes, c'est-à-dire par un grand nombre de passes et, par conséquent, de chaudes, surtout si à chaque passe on modifie la disposition des paquets.

Aux dimensions et poids donnés plus haut, un lamineur très-habile fait, par la méthode des *Ardennes*, soixante feuilles à l'heure, six cents feuilles par douze heures, soit, en poids, 600 kilogr., ce qui est de beaucoup inférieur à ce que l'on fait par la méthode ordinaire; en outre, les lamineurs de l'espèce spécifiée ci-dessus sont très-rares et se payent fort cher.

Un des moyens d'augmenter la production par la méthode des Ardennes consiste à donner une grande vitesse aux laminoirs. Ainsi il n'est pas rare de voir, dans ce pays, des laminoirs à tôle fine qui, ayant 50 centimètres de diamètre, font de quatre-vingts à cent vingt tours par minute, au lieu de trente à quarante que comportent les laminoirs par la méthode ordinaire. Dans ce cas, la production est supérieure à celle que nous avons indiquée.

Nous terminerons ce qui est relatif au laminage des tôles moyennes par les renseignements suivants, sur la méthode ordinaire, pour dimensions extra :

Digitized by Google

1° Tôles de 0m.77 de large sur 2m.80 de long et 1 millimètre d'épaisseur, pesant 17 kilogr.

On met douze morceaux à la charge; ces morceaux ont 22 centimètres de large, et chaque laminage les amène à

| | mètres. |
|---|---|
| 1re chaude, à 1. . . . . | 0.66 |
| 2e chaude, à 2. . . . . | 2.00 |
| 3e chaude, à 4. . . . . | 2.50 |
| 4e chaude, à 4. . . . . | 3.00 |

y compris les rognures.

Chaque charge prend une heure et demie, soit, pour douze heures, c'est-à-dire dix heures effectives, sept charges, qui font :

$$7 \times 12 \times 17 = 1{,}430 \text{ kilogr. brut,}$$

soit, après rognage : 1,150 kilogr. net.

2° Tôles de 30e/60e (0m.81 sur 1m.625).

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| A 6 | kilogr., | charge 24 | morceaux; | paquets à 1, à 3, à 5. |
| 9 | *id.*, | charge 24 | *id.*; | paquets à 1, 2, 4. |
| 12 | *id.*, | charge 20 | *id.*; | paquets à 1, 2, 3. |
| 15 | *id.*, | charge 18 | *id.*; | paquets à 1, 2, 3. |
| 20 | *id.*, | charge 12 | *id.*; | paquets à 1 et à 2. |

Nombre de chaudes suffisant pour arriver à la longueur.

### *Du recuit.*

Au sortir du laminoir, les tôles moyennes se divisent en deux catégories, savoir :

1° Les tôles qui doivent être recuites dans des fours (pl. 36);
2° Les tôles qui doivent être recuites en vase clos.

Les premières comprennent, comme nous l'avons déjà dit, les tôles dites *ardennes*, quelles que soient leurs dimensions, et les tôles fabriquées par la méthode ordinaire, dont les dimensions sont trop grandes pour entrer dans les boîtes à recuire 24/36, 24/60, et même 30/60; toutes les autres sont recuites en vase clos.

Quand les tôles doivent être recuites dans des fours, leur rognage ne s'effectue qu'après le recuit, ce qui est un avantage, parce que, si elles sont en fer un peu aigre, elles cassent moins au rognage que quand on leur fait subir cette opération avant le recuit.

Quand, au contraire, les tôles doivent être recuites en vase clos, il convient de les rogner avant de les mettre dans les boîtes à recuire, afin de donner à ces dernières des dimensions minimes. Il existe bien, pour les tôles aigres, une méthode qui consiste à les rogner deux fois, une première fois assez pour entrer dans les boîtes à recuire, et une seconde fois à la dimension voulue; mais cette méthode est coûteuse et ne pourrait s'employer que très-accidentellement, attendu que les tôles qui ne se laissent pas rogner avant le recuit sont généralement d'une qualité inférieure à ce qu'exige la consommation.

Le recuit des tôles ardennes, au four dormant, se fait par paquets de trente-deux à la fois. Quand elles sont étroites, on en met jusqu'à trois paquets à chaque recuite; la largeur du four en règle le nombre.

Digitized by Google

Quand on veut recuire les tôles en vase clos, on emploie des boîtes en fonte de la forme de celle représentée dans les figures 147, 148 (pl. 38), et qui est destinée aux tôles de 24,60.

Comme on le voit, les largeur et longueur intérieures de la boîte dépassent, la première de 5 centimètres, la seconde de 15 centimètres, les dimensions rigoureuses des feuilles. Cela tient à ce qu'il faut un certain jeu dans les boîtes pour y introduire ou en retirer les feuilles, et surtout pour leur permettre de se tasser pendant le chauffage. Quand les boîtes sont trop étroites, il est rare que les feuilles qui dépassent les autres ne viennent pas porter sur les parois de la boîte et ne se plient pas pendant le tassement que produit le recuit.

Cet excès de dimensions est, en outre, fréquemment utilisé pour recuire des tôles à dimensions extra qui se rapprochent des dimensions des boîtes; dans ce cas, on a soin de mettre ces feuilles au fond.

Pour les tôles ordinaires, dites 30°/60° à 66°, les boîtes à recuire ont les dimensions suivantes, savoir :

| | | |
|---|---|---|
| Longueur intérieure. . . . . | | 1m.97 |
| Largeur | *id.* . . . . . | 0m.89 |
| Hauteur | *id.* . . . . . | 0m.43 |

Le poids d'une boîte à recuire de 24°/60°, compris son couvercle, est de :

| | |
|---|---|
| Boîte. . . . . | 1,500 kilogr. |
| Couvercle. . . . . | 450 |
| Total. . . . . | 1,900 |

On y charge de 1,500 à 1,800 kilogr. de tôle.

Le recuit s'effectue dans des fours (fig. 149, 150), à l'intérieur desquels s'introduisent les boîtes, soit au moyen d'un chemin de fer et de treuils, quand ils sont à deux portes, soit au moyen d'une grue, quand ils sont à voûte mobile. La première disposition, quoique assez compliquée à cause du chauffage, est la meilleure, parce qu'on ne laisse généralement pas les boîtes refroidir dans les fours, à moins qu'elles soient destinées à l'étamage ou au plombage.

Quand les tôles doivent être vendues noires, on leur donne trois heures de petit feu, dix à douze heures de feu rouge clair, en ayant bien soin de ne pas faire fondre les boîtes, et en évitant, autant que possible, de les déformer, puis neuf à dix heures de refroidissement à registre fermé. Au bout de ce temps, les caisses, quoique rouges, sont défournées; puis, quand elles sont noires, mais chaudes encore, on les ouvre et on en retire les feuilles une à une, afin que l'air, les saisissant, les recouvre d'une teinte bleue correspondant à la température du défournement.

On considère trois genres de recuits et deux genres de déboîtages, savoir :

Le recuit pour tôles bleues,
Le recuit pour tôles blanches,
Le recuit collant;
Puis, Le déboîtage chaud,
Le déboîtage froid.

Le recuit pour *bleu* se fait comme nous venons de l'indiquer, à déboîtage chaud. Il ne faut pas que le chauffage ait été assez fort pour faire coller les feuilles entre elles.

Le recuit pour *blanc* se fait comme le précédent; seulement le déboîtage n'a lieu que quand les tôles sont tout à fait froides. Une précaution dont nous nous sommes toujours très-bien trouvé,



Digitized by Google

dans ce cas, consiste à remplir de charbon de bois tout l'espace des caisses non occupé par les tôles.

Le recuit *collant* est spécialement affecté aux tôles destinées à l'étamage ou au plombage : ce recuit est désastreux pour les boîtes en fonte, mais il est indispensable si on veut que les feuilles prennent bien la couverte à l'étamage; nous en reparlerons à propos du fer-blanc.

Les boîtes à recuire 24/60 peuvent servir pour recuire de 25 à 40,000 kilogr. de tôle, suivant la température à laquelle s'effectue le recuit, c'est-à-dire servir pour 17 à 27 recuites.

Quand on tient un compte exact du service des boîtes à recuire, on trouve que

1 kilogr. de boîte 24/60 recuit 20 kilog., en moyenne, de tôle pour le commerce, et seulement 12 kilogr. de tôle pour l'étamage.

1 kilogr. de boîte 30e/60 à 66, pesant :

| | |
|---|---|
| Boîte. . . . . | 1,800 kilog. |
| Couvercle. . . . . | 600 |
| Total. . . . . | 2,400 kilogr. |

recuit, en moyenne, 11 kilogr. de tôle pour le commerce et 8 kilogr. pour l'étamage.

Voici, du reste, un compte de recuit pour 6 boîtes, dont 3 dites 24/60 et 3 dites 30/66.

*Tableau des poids de tôles moyennes diverses recuites par kilogramme de boîte mise hors de service.*

| BOITES à recuire. | POIDS DES BOITES. | | | POIDS DES TOLES RECUITES. | | | | POIDS de tôle recuite par kilogr. de boîte usée. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | POUR VENDRE NOIRES. | | | |
| | BOITE. | COUVERCLE. | TOTAL. | POUR étamer. | MAL recuites. | BIEN recuites. | TOTAL. | |
| | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. | Kilogr. |
| 1e 24/60..... | 1470 | 420 | 1890 | 5021 | 5239 | 21856 | 32116 | 17.00 |
| 2e 24/60..... | 1466 | 560 | 2026 | 6327 | 7213 | 23356 | 36896 | 18.20 |
| 3e 24/60..... | 1462 | 427 | 1889 | 2113 | 3875 | 23721 | 29709 | 15.80 |
| 4e 30/66 (essai) | 1350 | 560 | 1910 | » | 797 | 10469 | 11266 | 5.90 |
| 5e 30/66..... | 1791 | 593 | 2384 | 1864 | 3955 | 19114 | 24933 | 10.50 |
| 6e 30/66 ..... | 1810 | 590 | 2400 | » | 5318 | 23511 | 28829 | 12.00 |

En admettant 0 fr. 30 c. pour la valeur du kilogr. de boîte neuve et 0 fr. 15 c. pour la valeur du kilogr. de boîte brûlée en partie, on voit que les frais de boîte seuls sont de 0 fr. 15 c. pour une quantité de tôle qui varie entre 6 et 20 kilogr., soit de 2 fr. 50 c. à 0 fr. 75 c. par 100 kilogr. de tôle recuite, en moyenne, de 1 fr. 60 c.

Il est entendu que cette moyenne correspond au recuit, non des tôles 24/60 et 30/60 exclusivement, mais de toutes les dimensions qui peuvent entrer dans les boîtes. Si les boîtes ne recuisaient jamais que les feuilles qui les emplissent, il en coûterait beaucoup moins.

Pour arriver à ce résultat, il faudrait multiplier les dimensions des boîtes à recuire et immobiliser un capital d'autant plus important que ces pièces, s'usant vite, exigent un approvisionnement assez considérable de rechanges.

Digitized by Google

En outre, il leur faut une place assez considérable dans le voisinage du four, et on ne la trouve pas toujours dans les forges.

Les fours à recuire les tôles en vase clos sont, comme les caisses à cémenter le fer, chauffés au moyen de deux grilles placées dos à dos et occupant, au-dessous de la sole du four, un espace égal à la superficie de cette dernière. Ces grilles ont les dimensions suivantes :

| | |
|---|---|
| Longueur. . . . . | 1m.40 |
| Largeur. . . . . | 1m.00 |

## CHAPITRE III.

### DE LA FABRICATION DE LA TOLE FINE.

Ce chapitre comprend toutes les tôles étroites et minces dont les types sont :

1° Les fers noirs pour fer blanc brillant et terne, dimensions ordinaires ;

2° Les tôles à tuyaux.

Toutes ces tôles, dont la largeur dépasse rarement 15 pouces, se font sur des cylindres durs de 20 et 24"; seulement, comme, pour le finissage, les cylindres sont toujours serrés à fond et exigent une régularité parfaite que ne permet pas longtemps l'ébauchage des platines, il convient de composer ainsi qu'il suit un train de tôle fine, savoir :

| | | |
|---|---|---|
| Un laminoir ébaucheur, qui est, en général, un vieux cylindre finisseur, de | 20 ou 24" | de table. |
| Un laminoir finisseur de. . . . . | 20. . . . . | — |
| Un laminoir finisseur de. . . . . | 24. . . . . | — |

Le premier finisseur sert principalement pour les feuilles de 8 à 10" de large, et le second sert principalement pour les feuilles de 11 à 15" de large.

En général, les fers blancs ordinaires et tôles à tuyaux n'affectent que les largeurs 9" et 12", et leur longueur ne dépasse pas 48 pouces.

La vitesse de rotation des cylindres peut facilement être de 45 tours par minute.

Depuis les tôles à tuyaux, qui se fabriquent en fer tout à fait inférieur, F 53, jusqu'au fer blanc brillant, première qualité, qui se fabrique en fer tout à fait supérieur, A, on emploie à ces laminoirs à peu près toutes les qualités de fer. Aussi est-il nécessaire d'y procéder avec méthode et soin, car les barres qui servent de matière première affectent toutes, à peu près, les mêmes dimensions, et une fois laminés, les fers de qualités différentes, mélangés ensemble, ne peuvent être triés qu'après de nombreuses cassures à froid, et souvent des essais à chaud.

Comme pour la tôle moyenne, la première opération relative à la fabrication de la tôle fine consiste à convertir en barres tantôt ébauchées, tantôt corroyées des paquets de fer brut ou des lopins de rognures de tôle avec couvertures en fer brut. On n'emploie, comme matière première, ni la ferraille affinée en vrac, ni la ferraille lopinée H, à moins que cette ferraille soit en feuilles proprement assemblées, comme les déchets de perles, H 75.

Quand le fer noir n'est pas destiné à l'étamage, les barres servant à le confectionner sont, généralement, en fer ébauché à chaude 1/2. Comme il s'agit toujours de les finir minces, on évite le refroidissement et une trop grande longueur en les coupant en deux, à la cisaille, après l'ébauchage; de cette façon, si on a mis 12 lopins dans le four, on en retire 24 barres finies.

Quand, au contraire, le fer noir est destiné à l'étamage, les paquets ou lopins sont convertis en

Digitized by Google

barres ébauchées d'une chaude ; cette chaude est d'autant plus violente que la qualité du fer est meilleure et ce dernier plus nerveux. Ensuite les barres ébauchées sont découpées en morceaux, mises en paquets et étirées en barres corroyées à une chaude quand les fers sont de qualité inférieure, et à chaude 1/2 quand les fers sont de qualité supérieure; ces barres ont, généralement, 4 pouces de large.

Une précaution qu'il importe de prendre dans la fabrication des barres destinées à la confection des morceaux ou platines est de les tremper dans l'eau fraîche aussitôt après leur sortie du laminoir, en ne prenant que le temps strictement nécessaire pour les dresser à peu près. Ce trempage a pour but de les décaper et d'éviter une bonne partie des gravelures superficielles que l'on rencontre fréquemment à la surface des feuilles, surtout quand la fabrication n'est pas soignée.

Les barres laminées et trempées sont marquées, pesées, classées et, le plus souvent, découpées immédiatement en morceaux ou platines à la longueur que nécessite l'échantillon auquel elles sont destinées. Si le fer est de qualité supérieure, on leur donne en longueur 9 lignes de plus que n'aura en largeur la feuille rognée à laquelle elles sont destinées; si, au contraire, le fer est de qualité inférieure, on leur donne 18 lignes de plus que ce que comporte la largeur de la feuille rognée.

Pour le laminage, on a quatre fours dormants (pl. 36, fig. 130, 131, 132, 133); deux pour ébaucher et deux pour finir. On charge de 200 à 250 morceaux, soit environ 250 kilogr. dans chaque four à ébaucher. Quand le fer est chaud, le chauffeur prend deux morceaux qu'il remet au *tapeur*, c'est-à-dire à un ouvrier chargé de décaper les morceaux un à un en les frappant sur une pièce en fonte à deux saillies suffisamment hautes et suffisamment espacées pour que la tenaille qui tient le morceau ne porte pas. Du tapeur les morceaux passent au lamineur ébaucheur, qui les ébauche d'abord à 1, jusqu'à ce qu'ils aient atteint une longueur de 20 centimètres environ, puis les réunit et leur donne deux ou trois passes à 2.

Au fur et à mesure que les morceaux sont ébauchés, on les remet deux à deux dans le four à ébaucher; puis, quand ils sont chauds, le lamineur finisseur les étire d'une première chaude à deux et les passe à l'ouvrier *doubleur*, dont les fonctions consistent à plier les feuilles en deux dans le sens transversal, en les réunissant tantôt par deux, tantôt par trois à la fois, suivant l'échantillon à fabriquer; c'est ce qu'on appelle faire des *coupes*.

Deux morceaux étirés, réunis et pliés en deux, font 4 feuilles; 3 morceaux étirés, réunis et pliés en deux, font 6 feuilles, etc. Dans le premier cas, le nombre des morceaux à la *coupe* est 2; dans le second, le nombre des morceaux à la *coupe* est 3. Nous spécifierons plus loin les compositions de *coupes* pour les divers échantillons.

Les coupes une fois composées par le doubleur, qui a soin de toujours mettre les cornes, c'est-à-dire l'arrière de la feuille en dessous, le *trempeur* les prend et les plonge dans un bain à décaper, composé d'acide sulfurique étendu d'eau, avant de les passer au chauffeur à finir. Les coupes sont étirées à la longueur voulue, tantôt d'une chaude, tantôt en plusieurs chaudes, avec ou sans doublage. Ainsi, pour l'échantillon qu'on appelle *clinquant*, il y a :

| | Nombre de morceaux à la coupe. |
|---|---|
| 1° Chauffage et ébauchage à 1 (pl. 38, fig. 151). . . . . | 1 |
| 2° Pliage en 2 (fig. 152). . . . . | 1 |
| 3° Chauffage et étirage à 2 (fig. 153). . . . . | 1 |
| 4° Cassage (fig. 154). . . . . | 1 |
| 5° Pliage à 4 (fig. 155). . . . . | 1 |
| 6° Chauffage et étirage à 4 (fig. 156). . . . . | 1 |
| 7° Cassage (fig. 157). . . . . | 1 |

Digitized by Google

| | Nombre de morceaux à la coupe. |
|---|---|
| 8e Addition de 2 bandes (fig. 158). . . . . | 1.5 |
| 9e Pliage à 12 (fig. 159). . . . . | 1.5 |
| 10e Chauffage et étirage à 12 (fig. 160). . . . . | 1.5 |

Le morceau pour clinquant, à 12, pèse 2k.20. La coupe, étant de 1.5 morceau, pèse 3k.30, et chacune de ses feuilles, à 12, pèse 0k.275, non rognée, et rognée à 138 brut pour 100 net, 0k.2 exactement.

Ces feuilles ont : Largeur. . . . . 0m.352
— Longueur. . . . . 0m.514
Leur surface est donc. . . . . 0mq.1815

d'où la proportion :

$$0^{mq}.1815 : 0^{k}.2 :: 1^{mq} : x$$

et $x = 1^{k}.09$ le mètre carré.

Le millimètre d'épaisseur pesant 8 kilogr. le mètre carré, nous en concluons que l'épaisseur du clinquant à 12 est :

$$0^{mm}.136,$$

c'est-à-dire un huitième de millimètre.

On fait ainsi 4 à 5 charges par 12 heures, soit environ 2,000 à 2,500 kilogr.

Après le laminage, les tôles fines passent au rognage, où les feuilles, formant une coupe, sont rognées simultanément, ce qui a fait donner le nom de *coupes* aux paquets de feuilles étirées ensemble.

Comme le finissage se fait à cylindres serrés à fond et se continue encore plusieurs passes, quand les feuilles sont déjà noires, il en résulte que ces dernières sont toujours plus ou moins fortement collées ensemble.

Le décollage des feuilles est une opération assez pénible quelquefois, qui s'effectue après le rognage. Les feuilles sortant du décollage sont quelquefois fort endommagées; mais, comme toutes les tôles fines sont recuites en vase clos, la température et la charge qu'on a soin de leur faire supporter les remet.

Nous allons maintenant envisager deux fabrications spéciales, savoir :

1° La tôle à tuyaux;
2° Le fer noir pour fer blanc.

### § 1er. De la fabrication de la tôle à tuyaux.

La tôle à tuyaux a, généralement, 12e sur 48, soit 0m.325 sur 1m.30, et pèse, rognée, 1 kilogr. la feuille.

Sa surface étant :

$$0^{m}.325 \times 1^{m}.30 = 0^{mq}.423,$$

nous en concluons que son épaisseur est :

$$\frac{1}{0^{mq}.423 \times 8^{k}.00} = 0^{mm}.295,$$

On emploie, pour sa fabrication, comme nous l'avons déjà dit, soit des paquets de fer brut de fonte au coke, F F x 53, soit, plus souvent, quand on n'en fabrique pas considérablement, des

Digitized by Google

lopins de rognures fines avec couvertures de fer brut de fonte au coke, F/F - 53/52, dans lesquels la couverture entre, au moins, pour les 2/3 du poids.

Ces paquets ou lopins, ayant 6° de large, pèsent de 60 à 65 kilogr. On en met 10 dans un four à souder, et, quand ils sont suants, on les ébauche à 4° de large sur 3 à 4 centimètres d'épaisseur, puis on les coupe en deux à la cisaille et on les remet dans le four; après une seconde chaude suante, on étire chacune de ces barres ébauchées en plat de 4° sur 8 à 10 millimètres d'épaisseur, suivant la dureté du fer, et on les trempe dans l'eau fraîche au sortir du laminoir.

On découpe ensuite les barres finies en morceaux de 365 millimètres de long, bouts écrus, affranchis, pesant, en moyenne, 2ᵏ.50 le morceau, puis on livre au laminoir.

Pour laminer, on charge, dans les deux fours du laminoir ébaucheur, deux cents morceaux, que l'on allonge par deux à la fois, d'abord successivement, puis ensemble, après les avoir préalablement fait passer entre les mains du tapeur.

On donne une seconde chaude à deux, et on étire au finisseur à la longueur de 1 mètre environ. Sur deux paquets de deux morceaux chaque, on en sépare un en deux feuilles, que l'on réunit chacune à un autre paquet; l'on plie en deux, et convertit ainsi chaque paquet en une coupe de six feuilles composées de trois morceaux, et pesant, par conséquent, brute et compris le déchet au feu, 7ᵏ.50. On trempe dans l'acide, et on donne une troisième chaude pour finir, et on étire de cette chaude à 1ᵐ.40 environ, puis on expédie au rognage.

La méthode des *Ardennes* consiste à étirer les paquets en barres de 3° de large et 3 lignes d'épaisseur, puis à couper en morceaux de 365 millimètres de long, pesant 1ᵏ.25 chaque, au lieu de 2ᵏ.50, comme plus haut.

On ébauche à 3 à la fois, passés d'abord successivement, puis ensuite simultanément.

Pour la deuxième chaude on réunit à 7, sans doublage, de manière à pouvoir modifier les positions relatives des feuilles à chaque passe au laminoir.

Pour la troisième chaude, on fait les paquets à quatorze feuilles, et on en donne une quatrième pour arriver à la longueur; total, quatre chaudes au lieu de trois; mais les feuilles sont polies et bleues, et n'ont plus besoin que d'un recuit au four à air libre pour être livrées au commerce. Ce recuit se fait, comme nous l'avons déjà dit, par trois paquets de trente-deux feuilles à la fois, après quoi on les rogne une à une, ce qui est un peu long, et ne permet de rogner que 600 kilogr. de tôle de 1 kilogr. par douze heures à une cisaille.

Par la première méthode, au contraire, le rognage se fait au sortir du laminoir par coupe de six feuilles à la fois. Une cisaille à deux hommes dont l'un pour manœuvrer le couteau, et l'autre pour poser la coupe, fait 1,000 kilogr., soit mille feuilles de tôle à tuyaux par douze heures, décollage compris; mais il faut ensuite recuire en vase clos, ce qui est une dépense bien plus considérable que le recuit dans les fours, non-seulement par la consommation des boîtes, mais encore par la main-d'œuvre et le combustible. Il est vrai que ce recuit a pour effet de faire évaporer l'oxygène dissous dans le métal et de permettre d'employer, à cette fabrication, du fer de qualité tout à fait inférieure.

### § 2. De la fabrication du fer noir pour fer blanc.

Les fers blancs se divisent en :

Fer blanc brillant;
Fer blanc terne.

Digitized by Google

Le fer blanc brillant se divise lui-même en :

Fer blanc brillant, première qualité ;
Fer blanc brillant, deuxième qualité.

Le fer blanc terne ne comporte qu'une qualité, mais se divise aussi en :

Fer blanc terne ordinaire ;
Fer blanc terne long.

Le fer blanc brillant diffère du fer blanc terne en ce que la couverte du premier est de l'étain pur, tandis que celle du second est un alliage de 3 plomb et 1 d'étain.

On appelle tôles *plombées* les tôles qui se font au laminoir moyen de 40", et que l'on recouvre de plomb allié d'étain dans la moindre proportion possible.

Les fers blancs brillants ou ternes, dimensions ordinaires, sont des feuilles ayant :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Longueur de | 325 | à | 487 | millimètres. |
| Largeur de | 211 | à | 284 | *id.* |
| Épaisseur de | 0.1 | à | 0.5 | *id.* |

Ces feuilles se vendent dans des caisses qui en contiennent de cent à deux cent vingt-cinq, suivant l'épaisseur, et pèsent de 25 à 100 kilogr. Ces petites feuilles se font au laminoir, tantôt à deux, tantôt à trois longueurs, de sorte que les coupes ont à peu près les mêmes dimensions que la tôle à tuyaux, c'est-à-dire de 9 à 12" de large sur 3 à 4 pieds de long.

Les ternes longs ont exactement les mêmes dimensions que la tôle à tuyaux, c'est-à-dire de 9 à 12" de large sur 4 pieds de long. Comme pour les 24/36, les 9"/48" ont pour but d'utiliser les feuilles qui, laminées pour 12" de large, ne comportent pas cette largeur. L'avantage de la fabrication des ternes longs consiste à faire tous les fers noirs, à fer blanc terne, à destination du terne long de 12"/48". Tout ce qui, après laminage, ne comporte pas ces dimensions devient soit 9"/48", soit fer blanc terne ordinaire de petite dimension.

On fait aussi des grands brillants dont les dimensions sont :

Longueur, 1m.00
Largeur, 0m.60 à 0m.65.

mais c'est un échantillon plutôt extraque courant.

Nous ne parlerons ici que de la fabrication des fers noirs pour fer blanc, dimensions ordinaires.

Les qualités du fer que l'on emploie pour la fabrication des fers blancs ordinaires varient suivant la nature de la couverte qu'ils doivent recevoir.

Pour fers blancs brillants, on emploie du fer forgé A, de qualité d'autant plus supérieure, que l'épaisseur des feuilles finies est plus forte.

Un fait assez remarquable que l'on a observé, c'est que, à qualité égale du produit fini, il faut, pour la fabrication du fer blanc brillant, du fer de qualité supérieure à celui qui est nécessaire pour la fabrication du fer blanc terne. Cela tient, sans aucun doute, à ce que, dans le fer blanc brillant, la proportion d'étain qui s'allie au métal et tend à le rendre cassant (page 54) est plus grande que celle qui s'y allie dans le fer blanc terne, dont la couverte contient une forte proportion de plomb.

L'épreuve à laquelle doit résister le fer noir pour fer blanc brillant est la suivante :

On prend 12 feuilles de 35 sur 25 centimètres environ et les recuit en vase clos pendant dix-

Digitized by Google

huit heures. Quand elles sont froides, on fait un pli à joints serrés au marteau, dans le sens du laminage et transversalement, sur deux côtés contigus.

Quand le fer est de bonne qualité, le pli transversal est à peu près inutile ; il n'a sa raison d'être que quand le pliage longitudinal cède et permet d'apprécier la qualité exacte du métal à froid. Le pli longitudinal doit se faire sans aucune espèce de déchirure ; bien plus, il faut que, rabattu et redressé au marteau, la ligne du pli, mise entre l'œil et la lumière, ne laisse pas voir de jour à travers. Comme cela n'arrive que pour les fers de qualité extrasupérieure, on fait l'épreuve sur 12 feuilles, afin d'apprécier combien de jour une qualité donnée de fer laisse apercevoir sur la longueur totale de $12 \times 35 = 4^{m}.20$.

On classe les fers à fer blanc brillant d'après la quantité de jour qu'ils laissent apercevoir, et on réserve les meilleurs pour les fers blancs épais, et les moins bons pour les fers blancs minces.

Quand une qualité de fer ne donne pas de jour du tout, alors on essaye les feuilles non recuites; mais cet essai est mauvais, parce qu'il arrive souvent alors que les meilleurs fers se cassent au redressage. Aussi importe-t-il de faire bien recuire les feuilles d'essai, sans quoi on s'expose à porter un jugement téméraire; le mieux est de réitérer plusieurs fois l'essai.

Les fers blancs brillants, deuxième qualité, se font en fonte qualité Champagne et fonte fine, puddlées ensemble.

On les réussit très-bien encore en déchets de perles avec couverture de fonte Champagne DH 75; comme ces tôles sont recuites en vase clos, elles ne redoutent pas l'oxygène en dissolution.

Les fers blancs ternes se font en mélanges de fonte Champagne et de fonte au coke, E 41, 42, 43, suivant l'épaisseur et les recommandations des clients.

1° *Corroyage.* — Quand il s'agit de fer blanc brillant, mince, on fait des paquets de 6°, composés de 9 barres fer brut A. On ébauche en 4° plats et on coupe en deux ; puis on double et, d'une seconde chaude, on étire à dimension voulue. De cette manière, on remplace le corroyage en 2 chaudes par un corroyage à chaude 1/2; mais il faut chauffer fort la seconde fois pour souder les deux barres superposées.

Quand il s'agit de fer blanc brillant épais, on fait également des paquets de 6° à 9 barres en fer brut A, et on les ébauche en 4° de 12 à $15^{mm}$ d'épaisseur. Quand les barres sont froides, on les découpe et on fait des paquets de 9 barres que l'on étire à chaude 1/2, en ayant soin de les couper en deux entre les deux chaudes, mais sans doubler. Les poids des paquets sont calculés pour que ces demi-barres étirées ne dépassent pas, en longueur, la longueur de la bâche à tremper, soit environ $5^{m}$.

Quand il s'agit de fer blanc terne ou de brillant, deuxième qualité, composé de rognures ou déchets de perles à l'intérieur et de couvertures en fer brut, il convient de ne pas mettre des couvertures trop épaisses ni trop minces, parce que les couvertures épaisses nuisent au soudage intérieur et font, le plus souvent, des cloches, tandis que les couvertures trop minces, elles, se déchirent au laminage en feuilles et font des pailles qui ne prennent pas l'étamage. Il n'y a pas d'épaisseur fixe à prescrire pour la couverture, parce qu'elle dépend entièrement de la nature du fer; c'est l'expérience qui, dans ce cas, est le seul guide.

2° *Laminage en feuilles.* — Après ce que nous avons dit du laminage en feuilles en général, nous croyons ne pouvoir mieux faire, pour rendre intelligible le laminage du fer noir pour fer blanc, que de mettre sous les yeux du lecteur le tableau suivant, relatif au laminage du fer blanc brillant, savoir :

Digitized by Google

*Tableau des poids, nombres et dimensions des morceaux, coupes et feuilles pour les diverses marques de fers blancs brillants qui se rencontrent dans le commerce.*

| MARQUES. | DIMENSIONS DES FEUILLES. Longueurs. | DIMENSIONS DES FEUILLES. Largeurs. | NOMBRE DE FEUILLES à la caisse. | POIDS DES CAISSES en feuilles étamées. | POIDS DES CAISSES en fer noir rogné. | NOMBRE DE MORCEAUX DE FER par caisse. | POIDS DU FER EMPLOYÉ par caisse. | LONGUEUR DES MORCEAUX. | POIDS DES MORCEAUX. | NOMBRE de FEUILLES PRODUITES par 1 morceau. | NOMBRE d'épaisseurs de feuilles à la coupe fine. | NOMBRE DE COUPURES DE FEUILLE à la coupe. | DÉCHETS. FOIDS, en morceaux, pour 100 kilogr. de feuilles noires rognées. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Millim. | Millim. | | Kilogr. | Kilogr. | | Kilogr. | Mètres. | Kilogr. | | | | Kilogr. |
| Cliquant. | 352 | 257 | 225 | 25.00 | 22.50 | 14 $^{7}/_{16}$ | 31.00 | 0.29 | 2.200 | 16 | 12 | 2 | 138.00 |
| *id.* | *id.* | *id.* | *id.* | 26.00 | 23.50 | 14 $^{7}/_{16}$ | 32.37 | *id.* | 2.300 | *id.* | *id.* | *id.* | 137.00 |
| *id.* | *id.* | *id.* | *id.* | 27.00 | 24.50 | 14 $^{7}/_{16}$ | 33.75 | *id.* | 2.400 | *id.* | 10 | *id.* | 138.00 |
| *id.* | *id.* | *id.* | *id.* | 28.00 | 25.50 | 14 $^{7}/_{16}$ | 34.90 | *id.* | 2.500 | *id.* | *id.* | *id.* | 137.00 |
| *id.* | *id.* | *id.* | *id.* | 29.00 | 26.50 | 14 $^{7}/_{16}$ | 36.05 | *id.* | 2.570 | *id.* | *id.* | *id.* | 136.00 |
| *id.* | *id.* | *id.* | *id.* | 30.00 | 27.50 | 14 $^{7}/_{16}$ | 38.00 | *id.* | 2.700 | *id.* | *id.* | *id.* | 138.00 |
| *id.* | *id.* | *id.* | *id.* | 38.00 | 35.50 | 28 $^{7}/_{8}$ | 47.81 | *id.* | 1.700 | 8 | 8 | *id.* | 135.00 |
| S B | 325 | 244 | 150 | 32.00 | 31.00 | 25.00 | 40.00 | 0.28 | 1.600 | 6 | 6 | 3 | 129.00 |
| X B | *id.* | *id.* | *id.* | 38.00 | 36.00 | *id.* | 46.45 | *id.* | 1.858 | *id.* | 4 | *id.* | 129.00 |
| XX B | *id.* | *id.* | *id.* | 43.00 | 41.00 | *id.* | 52.90 | *id.* | 2.116 | *id.* | 4 | *id.* | 129.00 |
| L C | 430 | 236 | 225 | 58.00 | 55.00 | 56 $^{1}/_{4}$ | 74.53 | 0.27 | 1.325 | 4 | 6 | *id.* | 136.00 |
| L X | *id.* | *id.* | *id.* | 68.00 | 65.00 | *id.* | 88.08 | *id.* | 1.569 | *id.* | 4 | *id.* | 136.00 |
| L XX | *id.* | *id.* | *id.* | 78.00 | 75.00 | *id.* | 101.63 | *id.* | 1.800 | *id.* | *id.* | *id.* | 135.00 |
| I C | 352 | 257 | *id.* | 55.00 | 51.00 | 37 $^{1}/_{2}$ | 67.50 | 0.285 | 1.800 | 6 | 6 | *id.* | 132.00 |
| I X | *id.* | *id.* | *id.* | 65.00 | 61.00 | *id.* | 78.75 | *id.* | 2.100 | *id.* | 4 | *id.* | 129.00 |
| I XX | *id.* | *id.* | *id.* | 75.00 | 71.00 | *id.* | 90.93 | *id.* | 2.425 | *id.* | *id.* | *id.* | 128.00 |
| I XXX | *id.* | *id.* | *id.* | 85.00 | 81.00 | 56 $^{1}/_{4}$ | 108.28 | *id.* | 1.925 | 4 | *id.* | 2 | 134.00 |
| I XXXX | *id.* | *id.* | *id.* | 95.00 | 91.00 | *id.* | 123.75 | *id.* | 2.200 | 4 | *id.* | *id.* | 136.00 |
| I D C | 430 | *id.* | *id.* | 63.00 | 60.00 | *id.* | 78.75 | *id.* | 1.400 | *id.* | 6 | *id.* | 131.00 |
| I D X | *id.* | 258 | *id.* | 73.00 | 70.00 | *id.* | 91.85 | *id.* | 1.633 | *id.* | *id.* | *id.* | 131.00 |
| I D XX | *id.* | *id.* | *id.* | 83.00 | 80.00 | *id.* | 104.96 | *id.* | 1.866 | *id.* | *id.* | *id.* | 131.00 |
| V B | 420 | *id.* | *id.* | 61.00 | 57.50 | *id.* | 75.49 | *id.* | 1.342 | *id.* | *id.* | *id.* | 131.00 |
| P B | 426 | 268 | *id.* | 64.50 | 61.50 | *id.* | 80.15 | 0.295 | 1.425 | *id.* | *id.* | *id.* | 131.00 |
| S D C. | 379 | 284 | 200 | 65.00 | 61.00 | 50 | 80.00 | 0.215 | 1.600 | *id.* | *id.* | *id.* | 131.00 |
| S D X | *id.* | *id.* | *id.* | 75.00 | 71.00 | *id.* | 92.50 | *id.* | 1.850 | *id.* | *id.* | *id.* | 131.00 |
| S D XX | *id.* | *id.* | *id.* | 85.00 | 81.00 | *id.* | 106.25 | *id.* | 2.125 | *id.* | *id.* | *id.* | 132.00 |
| S D XXX | *id.* | *id.* | *id.* | 95.00 | 91.00 | *id.* | 119.25 | *id.* | 2.387 | *id.* | *id.* | *id.* | 131.00 |
| M X | 406 | 211 | 150 | 75.00 | 71.00 | 37 $^{1}/_{2}$ | 94.00 | 0.345 | 2.506 | *id.* | 4 | *id.* | 133.00 |
| M XX | *id.* | *id.* | *id.* | 85.00 | 81.00 | *id.* | 107.00 | *id.* | 2.853 | *id.* | *id.* | *id.* | 132.00 |
| D C | 433 | 325 | 100 | 45.00 | 42.50 | 25 | 54.65 | 0.360 | 2.186 | *id.* | 6 | *id.* | 128.00 |
| D X | *id.* | *id.* | *id.* | 55.00 | 52.50 | *id.* | 67.50 | *id.* | 2.700 | *id.* | 4 | *id.* | 128.00 |
| D XX | *id.* | *id.* | *id.* | 65.00 | 62.50 | *id.* | 80.36 | *id.* | 3.215 | *id.* | 4 | *id.* | 129.00 |
| D XXX | *id.* | *id.* | *id.* | 75.00 | 72.50 | *id.* | 93.25 | *id.* | 3.728 | *id.* | 4 | *id.* | 129.00 |
| D XXXX | *id.* | *id.* | *id.* | 85.00 | 82.50 | *id.* | 106.71 | *id.* | 4.268 | *id.* | 4 | *id.* | 130.00 |
| A C | 487 | 239 | *id.* | 60.00 | 57.50 | *id.* | 75.00 | 0.395 | 3.000 | *id.* | 6 | *id.* | 130.00 |
| A X | *id.* | *id.* | *id.* | 70.00 | 67.50 | *id.* | 88.05 | *id.* | 3.522 | *id.* | 4 | *id.* | 131.00 |
| A XX | *id.* | *id.* | *id.* | 80.00 | 77.50 | *id.* | 101.09 | *id.* | 4.041 | *id.* | 4 | *id.* | 131.00 |
| A XXX | *id.* | *id.* | *id.* | 90.00 | 87.50 | *id.* | 114.12 | *id.* | 4.564 | *id.* | 4 | *id.* | 130.00 |
| A XXXX | *id.* | *id.* | *id.* | 100.00 | 97.50 | *id.* | 127.17 | *id.* | 5.087 | *id.* | 4 | *id.* | 130.00 |
| | | | | | | | | | | | | Moyenne..... | 132.13 |



Digitized by Google

Comme application de ce tableau, soit proposé de déterminer les épaisseurs de la feuille IC et du morceau nécessaire à sa fabrication.

| | | |
|---|---|---|
| La feuille IC a : | Longueur. . . . . | $0^m.352$ |
| — | Largeur. . . . . | $0^m.257$ |
| — | Superficie. . . . . | $0^{m.q}.09$ |

La caisse étant de 225 feuilles représente une superficie de 20 mètres carrés net; elle pèse, en noir, 51 kilogr., soit $2^k.55$ le mètre carré; on a la proportion :

$$8^k : 1^{mm} :: 2^k.55 : x$$
$$\text{d'où } x = 0^{mm}.32$$

La feuille IC a pour épaisseur $0^{mm}.32$.

Le morceau fait 6 feuilles, c'est-à-dire, plié en deux, 1/3 de coupe. Il pèse $1^k.80$, a pour largeur $108^{mm}$, et pour longueur $0^m.352 + 0^m.02 = 0^m.37$ net.

En admettant 8 kilogr. pour densité du fer, on trouve

$$e = \frac{1.80}{0.37 \times 0.108 \times 8} = 5^{mm}.62$$

Il est plus que probable que, en étirant le fer en barres corroyées à cette épaisseur, on n'arriverait pas au poids; aussi convient-il, quand on fait les préparations pour tôle, de peser des morceaux à longueur normale avant de laminer à épaisseur fixe, parce que la densité du fer en barres est assez variable.

En procédant comme ci-dessus pour déterminer les épaisseurs des feuilles finies, épaisseurs qui servent à déterminer le degré de qualité qu'exige la matière première, on trouve pour les principales marques :

| MARQUES. | SURFACE DE LA CAISSE. | POIDS DE LA CAISSE. | POIDS du MÈTRE CARRÉ. | ÉPAISSEUR DES FEUILLES. |
|---|---|---|---|---|
| | mètres carrés. | Kilogr. | Kilogr. | Millim. |
| IC | 20.40 | 51.00 | 2.50 | 0.324 |
| IDC | 25.00 | 60.00 | 2.40 | 0.310 |
| SB | 11.95 | 31.00 | 2.52 | 0.326 |
| VB | 24.40 | 57.50 | 2.34 | 0.303 |
| PB | 25.60 | 61.50 | 2.43 | 0.315 |
| IX | 20.40 | 61.00 | 2.98 | 0.386 |
| IXX | *id.* | 71.00 | 3.48 | 0.450 |
| IXXX | *id.* | 81.00 | 3.97 | 0.514 |
| IXXXX | *id.* | 91.00 | 4.46 | 0.579 |
| XB | 11.95 | 36.00 | 3.175 | 0 412 |

On fait rarement du fer blanc brillant de deuxième qualité, ce fer blanc étant affecté à des

Digitized by Google

commandes spéciales ; mais on fait considérablement de fers noirs pour diverses industries, notamment pour les fabricants de *boutons* de soie et autres.

Quand la fabrication du fer blanc se fait sur une grande échelle, tous les rebuts du laminage sont absorbés par cette dernière industrie, à laquelle on les livre recuits et en caisses comme le fer blanc.

Nous ne parlerons ici ni du rognage, ni du recuit, ni du laminage à froid, ni enfin du dérochage, réservant tout ce qui nous reste à dire concernant la fabrication du fer blanc pour la quatrième partie de cet ouvrage.

# TITRE IV.

## DES SERVICES ACCESSOIRES DE LA FABRICATION DU FER.

Les services accessoires de la fabrication du fer sont au nombre de huit principaux, savoir :

1° Le chauffage ;
2° L'éclairage ;
3° Les moteurs ;
4° L'alimentation ;
5° Le graissage ;
6° L'entretien des fours ;
7° L'entretien du matériel ;
8° Les magasins ;

L'importance de chacun de ces services varie suivant l'emplacement des usines, la nature de la force motrice et l'importance de la fabrication. Afin de fixer les idées, nous supposerons une usine fabriquant, par jour, 40,000 kilogr. de fer, savoir :

| | | |
|---|---|---|
| Fer marchand. . . . . | 20,000 | kilogr. |
| Grosse tôle. . . . . | 10,000 | — |
| Tôle moyenne. . . . . | 5,000 | — |
| Tôle fine. . . . . | 5,000 | — |
| Total égal.. . . . . | 40,000 | — |

soit, par an, 12,000,000 de kilogr.

## CHAPITRE PREMIER.

### DU CHAUFFAGE.

Le chauffage comprend :

Digitized by Google

1° L'approvisionnement en combustible;
2° Le tirage;
3° L'utilisation des chaleurs perdues.

### § 1er. De l'approvisionnement en combustible.

Une forge consomme du *charbon de bois* pour les feux d'affinerie, de la *houille* pour les fours et du *coke* pour opérations diverses; de ces trois combustibles, le seul dont il convient de se préoccuper est la *houille*, parce que la consommation de cette dernière, pour une fabrication journalière de 40,000 kilogr., n'est pas moindre de 120,000 kilogr. par vingt-quatre heures.

En effet, une usine qui fabrique 40,000 kilogr. par jour, répartis comme nous l'avons indiqué plus haut, n'occupe pas moins de :

Douze fours à puddler;
Douze — à souder;
Douze — à chauffer ou à recuire les tôles.

Or, les consommations de chacun de ces fours, par vingt-quatre heures, sont en moyenne :

| | |
|---|---|
| Pour un four à puddler. . . . . | 3,000 kilogr. |
| — un — à souder.. . . . . | 4,000 — |
| — un — à chauffer. . . . . | 1,000 — |

Soit par douze de chaque :

| | |
|---|---|
| A puddler. . . . . | 36,000 kilogr. |
| A souder. . . . . | 48,000 — |
| A chauffer.. . . . . | 12,000 — |
| Total. . . . . | 96,000 kilogr. |

Si on ajoute à cela 24,000 kilogr. pour les services accessoires, en supposant que les chaudières soient chauffées à flamme perdue des fours à souder, on arrive au total ci-dessus, de 120,000 kilogr.

Sur ces 120,000 kilogr., on peut compter moitié, soit 60,000 kilogr. en qualité supérieure, et moitié en qualité inférieure, que l'on emploie tantôt pures, tantôt mélangées ensemble. Les fours à *puddler* et les fours à *souder*, pour *grosse tôle*, soit au *marteau*, soit au *laminoir*, ne doivent brûler que des premiers charbons, tandis que les fours à *souder*, pour *gros*, *moyen* et *petit mill*, n'exigent qu'un mélange des deux charbons; les fours à chauffer le fer pour tôles fines ou à recuire ne consomment, exclusivement, que du charbon inférieur, à quelques rares exceptions près.

L'approvisionnement en charbon se compose, non-seulement de l'achat et de l'arrivage à l'usine, mais encore de la répartition entre les différents fours, de manière à constater constamment les consommations.

Quand l'usine est sur le lieu même de la production de la houille, l'approvisionnement se fait par voitures attelées ou par chemins de fer.

Dans ce cas, pourvu qu'il y ait du charbon à l'usine pour quelques jours, cela suffit, et le magasin de cette matière occupe peu d'étendue. Si, au contraire, l'approvisionnement se fait par eau, comme les canaux et rivières ont quelquefois jusqu'à deux mois de chômage, l'été par manque d'eau, l'hiver par suite des glaces, il faut que l'usine possède un magasin de charbon pouvant contenir un approvisionnement de trois mois, soit environ 120,000 × 75 =

Digitized by Google

9,000,000 de kilogr., qui, à raison de 800 kilogr. le mètre cube, font, net, 12,000 mètres cubes.

Or, outre que ce volume est considérable, il est très-désavantageux de faire ses approvisionnements de charbon, parce que la puissance calorifique de ce combustible exposé à l'air diminue tous les jours, surtout l'été. Pour lutter contre cet inconvénient, on a imaginé de le déposer dans des fosses ; mais alors il fermente et prend feu. A notre avis, une forge de l'importance de celle que nous supposons ne doit jamais être alimentée, en charbon de terre, que par waggons arrivant toute l'année.

La répartition du charbon aux fours se fait au moyen de petits chariots traînés par des hommes à l'entreprise. Les forges bien montées sont, généralement, dallées en fonte, non seulement sous les halles, mais encore partout où il y a des transports à effectuer.

Un chariot traîné par un homme et roulant sur dalles en fonte peut contenir 400 kilogr. de houille. Un homme fait, en moyenne, par douze heures, quarante voyages du magasin au charbon aux fours, et peut alimenter douze fours à puddler ou neuf fours à réchauffer.

Dans les usines où le combustible est cher, on ne se contente pas d'avoir un service de distribution du charbon aux fours ; on a encore un service pour l'extinction, l'enlèvement et le criblage des *crasses* qui tombent à travers la grille.

1,000 kilogr. de houille, consommés dans les forges, donnent, après criblage, 2 hectolitres d'*escarbilles* ou *grésillons*, pesant ensemble 110 kilogr.

Quand le combustible est bon marché, le criblage des grésillons est une mesure utile, en ce qu'elle empêche le détournement du combustible sous forme de mâchefer, qu'on va jeter au crassier : mais il est plutôt onéreux qu'avantageux, parce que la main-d'œuvre qu'il nécessite n'est pas compensée par la valeur des produits.

Mais, quand le combustible est cher, il en est tout autrement. Les escarbilles se vendant de 30 à 75 cent. l'hectolitre, suivant la rigueur de la saison d'hiver, on peut, dans une usine qui consume 120,000 kilogr. de houille par jour, en faire 240 hectolitres, soit environ 120 fr. En supposant que les frais absorbent la moitié de cette somme, il reste encore 60 fr. qui, au bout de trois cents jours, font 18,000 fr.

### § 2. Du tirage.

S'il est important, au point de vue de l'économie, d'employer du charbon frais, et aussi bon marché que possible, il est bien autrement important, au point de vue de la fabrication, de brûler ce charbon dans des conditions de tirage satisfaisantes ; car, quand il n'en est pas ainsi, non-seulement on dépense plus de combustibles, mais encore on fait du mauvais fer. Aussi est-il de la plus haute importance de constater, toutes les douze heures, les consommations et produits des fours, ce qui est très-facile quand la comptabilité des ateliers est bien tenue.

Le meilleur moyen, à notre avis, de maintenir puissant et régulier le tirage des fours, tout en utilisant les flammes perdues à divers chauffages, consiste à avoir le moins de cheminées possible, soit, par exemple, trois pour trente-six fours, et à munir les fours non de registres verticaux, mais de coulisses horizontales en fonte, fermant hermétiquement et situées aussi loin que possible de la flamme, pour ne pas brûler.

De cette manière, il n'entre jamais dans les conduits de fumée que de l'air chaud ; de plus, quand un four a la porte ouverte, pour charger ou refaire la sole, le refroidissement qui a lieu dans la cheminée est bien moins sensible que si elle ne servait qu'à lui seul. En outre, les conduits, étant forcément dans le sol, sont tout à fait imperméables à l'air ; ils nécessitent seulement que le sol soit à quelques mètres au-dessus des plus hautes eaux.

Digitized by Google

L'objection qu'on fait aux réunions de fours sur une seule cheminée est que les flammes de ces fours se contrarient; quand ce fait a lieu, on peut être certain qu'il y a eu négligence de la part du maçon qui a fait le conduit, ou de l'ingénieur qui lui en a donné le plan, parce qu'il est extrêmement facile d'empêcher les flammes de se contrarier. En effet, on verra, plus loin, quand nous parlerons de la fusion de l'acier, que nous avons établi, à l'aciérie de Lorette, vingt fours à réverbère, devant avoir un tirage maximum, sur un même conduit et que, quand seize de ces fours marchent ensemble, non seulement ils tirent tous proportionnellement à leur proximité de la cheminée, mais encore aucun d'eux n'est contrarié.

Pour empêcher les flammes de se couper, il suffit de protéger celle d'avant de celle d'arrière par une saillie de 20 à 25 centimètres environ; de telle sorte que les flammes soient forcées de circuler côte à côte, sans se gêner. Ce qu'il importe aussi, pour que les fours aient du tirage, c'est que la section des conduits soit égale à la somme des sections que comporte chaque four qui y passe.

Un four à puddler exige $0^m.40$ sur $0^m.40$, soit $0^{m\text{-}q}.16$ de passage.

Un four à souder exige, au moins, $0^m.50$ sur $0^m.50$, soit $0^{m\text{-}q}.25$.

Un four à chauffer les platines ou à recuire n'exige pas plus de $0^m.30$ sur $0^m.30$, soit $0^{m\text{-}q}.09$.

On a un même modèle de coulisse pour tous les fours, soit $0^m.50$ sur $0^m.50$ et on donne à la gaine, à l'endroit de la coulisse, les mêmes dimensions qu'à cette dernière. Ce n'est que dans les conduits recevant les gaz de plusieurs gaines, qu'on affecte à chaque four la section d'écoulement qu'il comporte.

Pour le haut de la cheminée, les sections données ci-dessus peuvent être réduites de 1/3; dans beaucoup de cas, elles ne sont même pas moitié. Quand les cheminées ont de grandes sections au sommet, le vent nuit à leur tirage; aussi convient-il bien plutôt d'augmenter le cône qu'elles forment de la base au sommet, que de les faire très-larges dans le haut.

### § 3. De l'utilisation des chaleurs perdues.

Les chaleurs perdues des fours peuvent être utilisées de différentes manières, savoir :

1° Au chauffage de cornues à gaz;
2° Au chauffage de caisses à cémenter;
3° Au chauffage des chaudières à vapeur.

On a aussi essayé de remplacer les fours à chauffer les platines par des espèces de *cassins* annexés aux fours à souder; mais cela ne vaut rien, à cause de la porte qu'il faut ouvrir fréquemment et qui nuit au tirage du grand four.

Quand les cornues à gaz sont en terre, on peut les chauffer à la flamme perdue des fours à souder; seulement les variations qui ont lieu dans la température de ces fours font qu'il est nécessaire de recouvrir ces cornues d'une forte enveloppe de briques réfractaires.

Quand les cornues sont en fonte, on réussit assez à faire du gaz, en les plaçant au-dessus des fours à chauffer les fers pour tôles moyennes et fines; mais il convient aussi de les préserver du coup de feu et des variations de température par une petite épaisseur de briques.

Le chauffage des caisses à cémenter, à flamme perdue, des fours à souder n'est qu'un cas particulier de la fabrication; attendu que, dans les aciéries, les fours à réverbère ne sont pas assez chauds pour être appliqués aux caisses à cémenter et, dans les forges, la fabrication du fer ne comporte pas de cémentation.

Digitized by Google

C'est au chauffage des chaudières à vapeur que se fait la plus rationnelle application de la chaleur des fours, tant à affiner le fer qu'à le souder.

Quand il s'agit de feux d'affinerie au charbon de bois, on peut employer les dispositions représentées dans les fig. 12 et 13 de la planche 24, dont l'une (fig. 12) est relative à un feu d'affinerie isolé, et l'autre (fig. 13) est relative à deux feux d'affinerie accouplés.

Quand il s'agit de fours à puddler, une disposition, qui réussit parfaitement, est celle représentée dans les fig. 161, 162, 163, 164 de la planche 39: A et B sont deux fours à puddler, munis de leurs *cassins*, placés bout à bout; C est la chaudière munie de ses quatre bouilleurs.

La flamme, sortant du four, monte verticalement par la gaîne D, et se rend d'abord sous la chaudière par le conduit E, puis ensuite descend sous les bouilleurs, par le conduit F, et se rend à la cheminée par les gaînes de descente G et H, munis, chacune, d'une coulisse horizontale.

Les deux fours sont indépendants l'un de l'autre et produisent environ 15 chevaux de force motrice chacun.

Quand il s'agit de fours à souder le fer, on emploie beaucoup, dans le *bassin de la Loire*, les chaudières verticales, dites à tirage, pendant la chauffe, représentées dans les fig. 165, 166, 167, 168 (pl. 40).

Des essais comparatifs, faits par MM. *Lan*, ingénieur des mines, et *de Bouchaud*, directeur des forges et fonderies de la Loire et de l'Ardèche, sur ces chaudières et les chaudières à bouilleurs horizontales, employées à l'usine de *Terre-Noire*, ont conduit ces messieurs aux conclusions suivantes (*Bulletin de la Société minérale*, tome 1^er^, page 75):

1° D'une manière absolue, les chaudières verticales simples (fig. 165, 166) ou doubles (fig. 167, 168) produisent plus de vapeur que les chaudières horizontales.

2° Les chaudières verticales doubles sont celles qui produisent le moins de vapeur par kilogramme de houille consommée ou chargée. Sous ce rapport, les chaudières horizontales ont un léger avantage sur les premières: mais les verticales simples ont une puissance de vaporisation supérieure à celle des deux autres.

3° L'élément qui influe le plus sur la puissance de vaporisation, c'est, comme cela a déjà été constaté souvent, l'étendue de la surface de chauffe: ainsi, dans les chaudières verticales doubles, l'étendue de la grille, l'espace libre, la hauteur des cheminées, la section des carneaux, etc., rapportés à chaque four à puddler, sont, à peu de chose près, les mêmes que dans les chaudières verticales simples; mais la surface de chauffe des doubles n'est que de 19^m.q^ par four, tandis qu'elle est de 25^m.q^ dans les autres; aussi le volume vaporisé par heure est-il plus fort dans celles-ci que dans les premières. Si la proportion n'est pas tout à fait exacte, il faut en voir la raison dans le fait d'une plus grande température des flammes répandues sur un moindre développement de surface de chauffe: le chiffre de vaporisation par heure et par mètre carré de surface de chauffe est, par cette raison, plus élevé pour les chaudières doubles que pour les chaudières simples.

Malgré ces conclusions, nous avons le regret de dire que nous considérons la disposition des fig. 161, 162, 163 et 164 comme infiniment supérieure aux chaudières verticales, parce que:

1° Le tirage reste dans les conditions que nous considérons comme les plus favorables à une bonne combustion, c'est-à-dire confié à une cheminée;

2° L'épaisseur des maçonneries, pour chaudières verticales, est toujours très-faible et favorable au déplacement des briques, sous l'influence de la température, aux rentrées d'air froid et aussi au refroidissement;

3° L'emplacement occupé par les chaudières horizontales placées sur les fours est nul et permet de mettre un plus grand nombre de fours dans un même espace, ce qui est très-important.

Nous sommes convaincu que, si on essayait comparativement la disposition des fig. 161,

Digitized by Google

162, 163, 164 et celle des fig. 165, 166, 167, 168, l'avantage resterait aux premières.

Cependant nous avons, un des premiers, proposé l'emploi des chaudières verticales au Creusot en 1838 et dans notre *Manuel de l'ingénieur civil*, en 1845.

En tous cas, on voit, par ce que nous venons de dire, que, dans une forge contenant en feu :

12 fours à puddler à 2 portes,
12 fours à souder,

on peut obtenir, par l'utilisation de la chaleur perdue au chauffage des chaudières, une force de :

1° . . . . . 12 × 15 = 180 chevaux,
2° . . . . . 12 × 20 = 240 —

Total. . . . . 420 chevaux,

soit les 4/5 environ de ce qui est nécessaire pour bien marcher, y compris les services accessoires qui prennent de la force motrice.

## CHAPITRE II.

### DE L'ÉCLAIRAGE.

L'éclairage au gaz d'une forge de l'importance de celle que nous considérons ne comporte pas moins de 150 petits becs; c'est dire que ce mode d'éclairage est une des nécessités des forges dans lesquelles le travail de nuit ne diffère en rien du travail de jour. Cela n'empêche pas qu'il se fasse une grande consommation d'huile et de chandelles, parce qu'il y a toujours des parties non éclairées ou éclairées, à certains moments, d'une manière insuffisante, telles que les caves des laminoirs, les moteurs, etc.

Pour le nombre de becs indiqués ci-dessus, il faut environ 8 cornues en fonte ayant les dimensions suivantes :

| | |
|---|---|
| Longueur. . . . . | 2m.00 |
| Largeur . . . . . | 0 50 |
| Hauteur. . . . . | 0 30 |

Quatre fours à chauffer les platines pour tôles fines suffisent au chauffage de ces cornues. La consommation en houille grasse, première qualité, est de 10 hectolitres par vingt-quatre heures. On charge toutes les six heures. On retire environ, des 10 hectolitres de houille, 15 hectolitres de coke qui sert soit à la fonderie quand il y en a une, soit à l'allumage des fours, le coke prenant plus vite que la houille.

## CHAPITRE III.

### DES MOTEURS.

Il n'y a que deux genres de moteurs dans les forges, savoir :

Les roues hydrauliques;
Les machines à vapeur.

Digitized by Google

Depuis qu'on produit la force motrice nécessaire aux machines à vapeur par l'utilisation des flammes perdues au chauffage des chaudières, les moteurs hydrauliques ont perdu beaucoup de leur importance, et dût-on perdre l'avantage que présente le voisinage d'un cours d'eau utilisable comme force motrice, pour le rapprocher du combustible, on n'hésite plus aujourd'hui.

Les machines à vapeur qu'il convient le mieux d'employer dans les forges sont les machines horizontales (pl. 41, fig. 169, 170, 171), à détente, avec ou sans condensation, suivant l'emplacement, mais préférablement sans condensation. Le combustible ne coûtant rien, notre avis est que, quand on a assez de fours pour produire toute la vapeur nécessaire, il est préférable d'avoir une ou deux chaudières de plus et d'éviter la condensation, qui se dérange assez souvent soit d'un côté, soit de l'autre, et expose le fer à se brûler dans les fours, quand on est pris au dépourvu. La condensation exige, en outre, une forte quantité d'eau (près de 600 litres par cheval et par heure), qu'il peut être facile de se procurer en hiver et qui manque souvent en été. Le mieux, quand on tient à employer la condensation, est de disposer la machine pour marcher à volonté, avec ou sans condensation.

Un des avantages des machines sans condensation est de pouvoir marcher à grande vitesse et éviter ainsi l'emploi des engrenages pour transmettre le mouvement aux laminoirs. Alors, au lieu d'avoir, comme autrefois, un ou deux moteurs pour toute l'usine, on a autant de moteurs que d'outils.

On ne peut se faire une idée des frais énormes qu'entraînent les transmissions de mouvement, surtout au petit mill, quand on fait usage, pour mouvoir les trains à distance, d'arbres et d'engrenages; il est rare qu'on passe quarante-huit heures sans une casse et un chômage de plusieurs heures. Quand, au contraire, chaque train a sa machine à vapeur, tout roule sans que l'oreille soit incommodée par le bruit des engrenages; les réparations deviennent presque nulles; la production augmente d'une manière sensible, tandis que les déchets en métal et combustible diminuent.

## CHAPITRE IV.

### DE L'ALIMENTATION.

Les forges ont besoin d'eau, non-seulement pour alimenter les chaudières à vapeur, mais encore pour rafraîchir les tourillons et cannelures des laminoirs. Lors donc que l'eau ne vient pas d'un niveau supérieur, il convient d'avoir, au centre de l'usine et à une hauteur de 5 à 6 mètres au moins, un grand réservoir d'eau froide en communication avec les pompes d'alimentation des chaudières et tous les tuyaux que comportent le service des laminoirs, l'extinction des cendres sous les grilles, et même les cas d'incendie qui peuvent se présenter.

L'alimentation de ce réservoir peut se faire par une pompe du genre de celle qui est représentée dans les fig. 172, 173, 174 (pl. 42), et a été placée, dans beaucoup de gares de chemins de fer, par MM. *Warrall, Middleton* et *Elvell*, mécaniciens à Paris.

L'alimentation des chaudières peut se faire soit par des pompes attelées aux machines à vapeur, soit, mieux, par des pompes spéciales dites *petits chevaux*, ayant la vitesse convenable pour que les clapets fonctionnent bien.

Les fig. 175 à 181 (pl. 43) et 182 à 185 (pl. 44) représentent deux pompes de ce genre, construites par M. *Bourdon*, ingénieur-mécanicien à Paris. La première est à deux pistons et peut servir pour appareils depuis 60 jusqu'à 200 chevaux. La seconde est à un seul piston et sert comme rechange ou annexe.



Digitized by Google

Un appareil qui l'emportera sur toutes les pompes alimentaires pour forges, ayant beaucoup de chaudières disséminées par suite de l'utilisation de la chaleur perdue à leur chauffage, c'est l'injecteur de M. *Giffard* (fig. 186). Cet appareil, qui est encore nouveau, a pour but d'alimenter les chaudières par la vapeur même desdites chaudières lancée dans un espace annulaire où elle rencontre de l'eau. On croirait, au premier abord, que, la pression étant égale de part et d'autre de la soupape *s*, il n'y aura aucun mouvement; eh bien, il n'en est pas ainsi : la vapeur, en sortant par l'orifice *d*, fait trompe et entraîne avec elle l'eau qui arrive, par le tuyau T, dans l'espace EE; bien plus, elle traverse avec cette eau, sans s'y précipiter, l'espace E'E', qui est en communication avec l'air extérieur par le tuyau T', et se rend à la chaudière dont elle est sortie par le tuyau LM, en soulevant la soupape S. Pourquoi? C'est ce que nous n'entreprendrons pas de démontrer; si M. *Giffard* s'était contenté d'annoncer la chose comme possible, sans le prouver, on l'aurait traité de fou; heureusement, pour lui, son appareil a donné raison à son idée.

## CHAPITRE V.

### DU GRAISSAGE.

Le graissage est un service que, dans les petites usines, on confie généralement aux ouvriers chargés de diriger ou employer les moteurs ou outils qui en ont besoin; aussi est-il fait, le plus souvent, avec la plus grande négligence, et contribue-t-il, pour sa bonne part, dans la prompte détérioration du matériel, surtout aux laminoirs.

Dans une grande usine, le graissage doit faire l'objet d'un service spécial et intéressé, d'une part, à l'économie de la graisse, d'autre part à la durée des machines et outils.

Les machines à vapeur exigent de l'huile animale ou d'olive; les tourillons des laminoirs se graissent avec du suif en branche, de préférence au suif fondu, qui s'échauffe, coule et disparaît rapidement, sollicité comme il l'est par l'eau qui coule constamment pour rafraîchir ces derniers. Les engrenages se graissent avec la *muciligne*, espèce de résine mélangée de suif, qui adhère aux dents des roues et diminue l'usure par frottement qu'elles produisent les unes sur les autres. Une précaution qu'il est important de prendre pour ces dernières, c'est de les mettre en nombres incommensurables entre eux, afin que, à chaque tour, les contacts des dents changent; de cette manière l'usure est régulière et les dents durent plus longtemps.

## CHAPITRE VI.

### DE L'ENTRETIEN DES FOURS.

L'entretien des fours est fait par des maçons fournalistes, et exige, chez ces derniers, une capacité et une expérience que l'on développe singulièrement en les mettant à l'entreprise, et en les payant, non pas d'après le temps qu'ils y ont passé ni d'après le nombre de briques qu'ils ont employées, mais tout simplement à tant par 1,000 kilogr. de fer fabriqué.

Une forge faisant 40,000 kilogr. de fer par vingt-quatre heures consomme, en moyenne, par

Digitized by Google

mois, 10,000 briques réfractaires, et occupe constamment cinq maçons dans la semaine et dix les dimanches.

Quand plusieurs forges existent dans la même localité, on trouve au dehors les briques réfractaires à un prix assez bas, et d'une qualité suffisante pour qu'on puisse se dispenser de les faire soi-même : dans le bassin de la Loire, par exemple, les briques réfractaires de première qualité, en terre de *Bolène*, valent 15 francs le cent, ou 5 francs les 100 kilogr., la brique pesant 3 kilogr. Mais, quand une forge est isolée, il lui faut absolument faire les briques réfractaires elle-même. Dans ce cas, ce qui convient le mieux est de donner aux maçons l'entreprise de la fabrication des briques et de l'entretien des fours, comme nous le disions tout à l'heure, c'est-à-dire en payant le tout, matière et main-d'œuvre, à tant par 1,000 kilogr. de fer fabriqué, soit fini, soit par train.

Le total de la dépense d'entretien, main-d'œuvre et fourniture, peut aller à 50 francs par jour, en comptant les maçons à 5 francs ; à 40,000 kilogr. finis, cela ferait 1 fr. 25 c. par 1,000 kilogr. de fer fini par train ; 40,000 kilogr. fer fini représentent environ 100,000 kilogr. travaillés par jour, soit 50 centimes par 1,000 kilogr. La première combinaison est préférable.

## CHAPITRE VII.

### DE L'ENTRETIEN DU MATÉRIEL.

Le matériel se divise en :

*Machines à vapeur* et *gros outils*, tels que laminoirs, marteaux, presses, etc.

Petit *outillage*, tel que *ringards*, *tenailles*, *pelles*, *couteaux de cisailles*, guides des laminoirs, etc.

Quand l'usine se trouve dans un centre industriel, l'entretien du gros matériel peut être fait au dehors ; mais, si l'usine est isolée, il faut qu'elle ait un petit atelier de construction comprenant : *forge à fer ouvré*, *fonderie*, *ajustage* et *montage*.

Quelle que soit la situation, il est toujours bon que le tournage des cylindres de laminoirs se fasse dans l'usine.

Quant à l'entretien du petit outillage, il doit toujours être fait aux pièces, dans l'usine même. Les ouvriers entrepreneurs chargés de ce travail sont payés, comme les maçons, à tant par 1,000 kilogr. de fer fabriqué par chaque série d'outils.

On distingue dans ce cas :

1° Les outils de l'affinage au charbon de bois ;
2° Les outils du puddlage ;
3° Les outils des marteaux-pilons ;
4° Les outils du fer marchand ;
5° Les outils de la tôle.

## CHAPITRE VIII.

### DES MAGASINS.

Les magasins se divisent en :

1° Magasin des matières premières, comprenant les *fontes*, les *ferrailles* et les *charbons* ;

Digitized by Google

2° Magasin des fers en barres *brutes* et *ébauchées ;*
3° Magasin de tôles rebutées et pouvant servir pour des dimensions autres que celles commandées ;
4° Magasin des lopins ;
5° Magasin des fers en barres finies ;
6° Magasin des tôles finies ;
7° Magasin des pièces de rechange ;
8° Magasin des matières accessoires, telles que quincaillerie, graisses, huiles, batafil, etc.

De tous ces magasins, qui sont tenus par les agents de la comptabilité, celui qui est le plus intéressant, au point de vue de l'art, est le magasin des pièces de rechange, où sont les *cylindres de laminoirs neufs*, les *boîtes à recuire*, les *engrenages*, etc. ; toutes pièces dont la bonne fabrication influe sur la qualité des produits. Nous croyons donc devoir terminer cette revue des services accessoires par quelques compositions de pièces en fonte qui donnent des résultats satisfaisants.

*Compositions diverses de pièces de rechange.*

1° Boîtes à recuire les tôles en vase clos :

| | |
|---|---|
| Fonte anglaise de Beaufort | 1/3 |
| — mécanique, c'est-à-dire provenant de pièces cassées | 2/3 |

2° Plaque à dresser les fers :

| | |
|---|---|
| Fonte anglaise de Gartsherry | 1/4 |
| — mécanique | 3/4 |

3° Cylindre pour petit mill :

| | |
|---|---|
| Fonte Gartsherry | 1/2 |
| — mécanique | 1/2 |

4° Pignons pour laminoirs :

| | |
|---|---|
| Fonte Beaufort | 1/8 |
| — Gartsherry | 1/4 |
| — mécanique | 1/4 |
| Jets de fonderie | 3/8 |

5° Cylindres trempés :

| | |
|---|---|
| Fonte anglaise de Crawshay | 3/10 |
| — de Lomoor | 1/10 |
| — de Champagne, blanche | 6/10 |

6° Cylindre de gros mill :

| | |
|---|---|
| Fonte anglaise Blénarvon | 400 |
| — de Beaufort | 400 |
| — Champagne, Eurville | 800 |
| — mécanique | 800 |
| Jets de fonderie | 900 |
| | 3,300 |

Digitized by Google

7° Pignons, arbres, moufles, boîtes de sûreté :

| | |
|---|---|
| Fonte Beaufort. . . . . | 400 |
| — Gartsherry. . . . . | 400 |
| — Eurville. . . . . | 400 |
| — mécanique. . . . . | 400 |
| — jets. . . . . | 400 |
| | 2,000 |

8° Boîtes à recuire :

| | |
|---|---|
| Fonte Gartsherry. . . . . | 500 |
| — Eurville. . . . . | 1,000 |
| — mécanique. . . . . | 1,000 |
| | 2,500 |

9° Cylindres trempés :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fonte Blénarvon. . . . . | 925 | ou | 600 |
| — Baigorry. . . . . | 925 | ou | 600 |
| — Champagne, blanche. . . . . | 550 | ou | 600 |
| | 2,400 | | 1,800 |

10° Un gros engrenage :

| | |
|---|---|
| Fonte Blénarvon. . . . . | 800 |
| — Beaufort. . . . . | 700 |
| — Gartsherry. . . . . | 700 |
| — mécanique. . . . . | 2,000 |
| — jets. . . . . | 300 |
| | 4,500 |

11° Cylindres de petit mill :

| | |
|---|---|
| Fonte Beaufort. . . . . | 600 |
| — Gartsherry. . . . . | 600 |
| — Eurville. . . . . | 400 |
| — mécanique. . . . . | 400 |
| — jets. . . . . | 400 |
| | 2,400 |

12° Cylindres trempés :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fonte Lomoor. . . . . | 17 | ou | 19 |
| Champagne, Naix. . . . . | 10 | ou | 8 |

13° Bâti d'engrenages :

| | |
|---|---|
| Fonte de Beaufort. . . . . | 125 |
| — Gartsherry. . . . . | 125 |
| — mécanique. . . . . | 250 |

14° Résultats comparatifs des boîtes à recuire les tôles 24/60 (voir page 306), de sept compositions différentes :

Digitized by Google

Si nous désignons les compositions par des lettres, nous avons, en premier lieu, pour résultat de leur travail, en boîtes, au four à recuire :

| | | |
|---|---|---|
| Composition | A. . . . . | 24 fournées. |
| — | B. . . . . | 21 — |
| — | C. . . . . | 20 — |
| — | D. . . . . | 19.5 |
| — | E. . . . . | 17.8 |
| — | F. . . . . | 17.25 |
| — | G. . . . . | 15 — |

et le tableau suivant :

*Tableau de sept compositions différentes de boîtes à recuire.*

| FONTES EMPLOYÉES. | COMPOSITIONS. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | G |
| Eurville | 150 | » | » | 120 | 100 | » | » |
| Mécanique de Hayange | 50 | 4 | » | 50 | » | » | » |
| Mécaniques diverses | 30 | 180 | 185 | 70 | 105 | 180 | 130 |
| Gartsherry | » | 90 | 80 | » | 50 | 40 | » |
| Nait | » | » | 60 | » | » | » | » |
| Beaufort | » | » | » | » | » | 40 | 60 |
| Jets | » | » | » | » | » | 15 | 53 |
| TOTAUX | 230 | 274 | 325 | 240 | 255 | 275 | 243 |

La fonte mécanique de Hayange provenait de tubes du chemin de fer atmosphérique de Saint-Germain. Il est fort remarquable que, de toutes les compositions, celle qui a résisté le plus au feu est précisément la première, A, 24 fournées, qui ne contient pas de fonte anglaise, mais une très-forte proportion de l'une des premières fontes de la Champagne, avant l'addition du coke dans les hauts fourneaux.

15° Cylindres trempés, ayant 2 centimètres de trempe et une texture d'un beau gris franc à l'intérieur :

| | |
|---|---|
| Fonte Blénarvon noire. . . . . | 40 |
| — Baigorry grise. . . . . | 40 |
| — Champagne blanche. . . . . | 20 |
| | 100 |

Cette composition donne des cylindres extrêmement durs, mais pas assez tenaces. Dès qu'ils s'échauffent, ils gonflent beaucoup et cassent. Il en est de même de ceux qui proviennent de fonte mélangée de ferraille pour favoriser la trempe.

Digitized by Google

Moins il y a de graphite en suspension dans la fonte, plus le métal subit l'influence de la dilatation quand on le chauffe. Pour faire de bons cylindres durs, il faut une fonte très-carburée, très-pure et dépourvue de phosphore, parce que ce dernier corps s'oppose à la trempe.

Pour une production annuelle de 12 millions de kilogrammes de fer, tant en barres qu'en tôle, la consommation des pièces de rechange, en fonte, s'élève à 600,000 kilogr., en moyenne, soit à 5 pour 100 du produit fabriqué.

Digitized by Google

# TROISIÈME PARTIE.

## DE LA FABRICATION DE L'ACIER.

---

Nous avons dit, dans l'introduction, que :

1° Quelle que soit la qualité du fer fini, la matière première de sa fabrication, c'est-à-dire le *fer brut*, doit être de l'*acier* suffisamment saturé de *carbone* pour lutter contre l'influence détériorante des différentes chaudes suantes que comporte sa conversion en *barres*, *tôles* et pièces ouvrées à chaud :

2° Quand, au contraire, il s'agit de fabriquer de l'*acier*, la matière première doit être du *fer*, d'autant plus pur que la qualité du produit doit être supérieure ; d'où cette conclusion :

Pour fabriquer du *fer*, il faut prendre de l'*acier* ;
Pour fabriquer de l'*acier*, il faut prendre du *fer*.

Avec cette différence que les divers usages auxquels le *fer* s'applique tolèrent, dans beaucoup de cas, la présence de certaines matières étrangères en petites proportions, tandis que l'*acier*, quelque commun qu'il soit, ne comporte que des proportions infimes de ces substances et exclut complétement le *phosphore*, surtout quand il est destiné à subir la *trempe*. Ces exigences de l'acier proviennent de ce que :

1° Quand on le fond, s'il est impur, il retraite fortement au moment de la coulée et donne des lingots percés, c'est-à-dire à axe creux, sur une hauteur d'autant plus grande qu'il a été coulé plus vite et qu'il est moins pur ;

2° Quand on le corroie, les matières étrangères, notamment le phosphore, chassent le carbone, sous l'influence de la chaude suante qu'il lui faut subir et, de plus, lui ôtent toute consistance après la trempe.

Pour reconnaître la qualité de l'acier, le moyen le plus simple consiste à le convertir en burin, le tremper et le recuire à la couleur *gorge-de-pigeon*. Si le métal est pur, il résiste au burinage du fer, de la *fonte grise*, de la fonte *blanche*, des *meules* de moulins ; seulement il *refoule* plus ou moins lentement, suivant la dureté de la matière burinée. Si le métal est impur, il *grène* d'autant plus promptement que la matière burinée est plus dure et que la pureté est moindre. Cependant il ne faut pas trop se presser de condamner un acier. En effet, tel acier qui, après une première fusion, converti en marteaux de moulins, ne peut frapper trois coups sans grener,

Digitized by Google

fondu une deuxième fois et *trempé sans recuit*, fait un excellent outil pour le même usage. Cela provient de ce que la qualité de l'acier ne dépend pas seulement de sa pureté, comme composition, mais aussi de son homogénéité. Un acier coulé trop tôt, après fusion, et surtout coulé froid, est comme le verre à glaces mal mélangé dans les creusets qui servent à le fondre; la dissolution n'est pas homogène et les composants sont inégalement répartis. A la trempe, il y a inégalité de résistance dans les différentes parties du métal et, conséquemment, tendance à dilatations différentes et à rupture.

En outre, quand on coule l'acier liquide dans les lingotières, il fait *trompe* et entraîne avec lui une proportion d'air plus ou moins notable, qui pénètre dans le métal déjà coulé et remonte d'autant plus difficilement à la surface que le métal est moins liquide, c'est-à-dire moins chaud; l'oxygène de cet air réagit alors sur le carbone contigu et fait des soufflures plus ou moins abondantes d'oxyde de carbone, comme nous le verrons en parlant de la fusion du métal.

Toutes ces causes réunies font que, comme nous l'avons dit, il ne faut pas trop se presser de condamner l'acier, surtout fondu, d'après une première épreuve.

En résumé, le *silicium* est tolérable, en petite quantité, dans les aciers communs et peu saturés, tels que les aciers à ressorts de voitures et de chemins de fer, les essieux de waggons et les grosses tôles pour chaudronnerie, parce que ces pièces, d'autant plus tenaces que le métal prédomine plus, ou sont trempées très-doux ou sont employées sans être trempées du tout. Mais si les aciers sont fortement carburés, comme les aciers à lime, ils grènent facilement après la trempe, rien que par le fait de la présence de ce corps.

Le *soufre* est tolérable en petite quantité dans les aciers doux communs; seulement il les fait quelquefois criquer. Dans les aciers durs, au contraire, il provoque les *roses*, en exaltant la cristallisation du carbone superficiel au moment de la trempe. Cela provient, comme nous l'avons dit (page 18), de ce que :

1° La cristallisation du carbone a toujours pour effet de dilater la partie du métal où elle a lieu ;

2° La trempe, dans l'eau fraîche, ne pénètre jamais à plus de 2 ou 3 millimètres d'épaisseur ;

3° La ténacité du métal, intérieur et non trempé, est d'autant moindre qu'il est moins pur.

Le *phosphore* n'est tolérable en aucune proportion, parce que sa présence est incompatible, à chaud, avec celle du carbone, qu'il chasse, et parce que, après la trempe opérée malgré lui, il enlève au métal toute sa ténacité.

On voit, par cet énoncé, que les fers propres à la fabrication de l'acier sont nécessairement très-rares, non à cause du silicium et du soufre, parce qu'il est toujours possible de se débarrasser du premier et que beaucoup de fontes ne contiennent pas le second, mais à cause du phosphore qui existe dans presque tous les minerais. Aussi n'y a-t-il, en *France*, que quatre ou cinq moyens de faire de l'acier avec du fer, savoir :

1° En prenant des fers de Suède ou de Russie fabriqués avec soin ;

2° En prenant des fers du Midi fabriqués à la *catalane* et choisis;

3° En prenant des fontes de *Toga* fabriquées avec minerais d'*Algérie*, première qualité;

4° En prenant des fontes de *Savoie* ou de l'Isère, aussi peu chargées de sulfure de cuivre que possible ;

5° En prenant des fontes de Baigorry provenant des minerais de la localité et non mélangées de minerai des *Landes*.

Des fontes provenant des minerais de *Bilbao* conviendraient aussi probablement, ainsi que beaucoup d'autres obtenues par l'affinage de minerais étrangers; mais, en ce moment, il n'y a, réellement, moyen de s'approvisionner économiquement que comme nous venons de l'indiquer.

Depuis quelques années, la *Suède*, qui a eu longtemps le monopole des fers à aciers, se né-



Digitized by Google

glige et tue sa poule aux œufs d'or. Autrefois il suffisait de voir certaines marques sur les fers de *Suède* pour être certain d'avance de leur qualité ; aujourd'hui il n'en est plus ainsi, la marque ne signifie que fort peu de chose, savoir : la provenance. On continue à vendre cher, mais on fait moins bon.

La *Russie*, au contraire, tend de plus en plus à enlever à la Suède son monopole pour les qualités supérieures, et il est heureux, on peut dire, que cette concurrence soit venue pour arrêter la décadence des fers de *Suède*.

Les fers de *Suède* et de *Russie* sont employés exclusivement pour les aciers corroyés et les aciers fondus fin.

Les fers du *Midi* conviennent pour les qualités ordinaires; là, aussi, il y a un choix à faire et, si les fontes de *Toga* n'étaient pas venues leur faire concurrence, ils n'auraient pas tardé à mériter le même reproche que les fers de *Suède*.

Les fontes de *Toga* provenant de minerais d'*Afrique* sont appelées à faire, dans quelques années, une rude concurrence aux fers de *Suède*; elles ont déjà détrôné les *fers* du *Midi*, et, si leur emploi ne se généralise pas plus vite, cela tient à des questions de concessions de minerais qui ne sont pas encore résolues.

Les fontes de la *Savoie* et de l'*Isère*, quoique, toutes, plus ou moins souillées de sulfure de cuivre, donnent des aciers doux de très-bonne qualité, qui s'emploient avec succès dans la fabrication des aciers corroyés de deuxième qualité.

Si à ces considérations nous ajoutons que la conversion du fer en acier fondu fini consomme 500 kilogr. de houille au moins pour 100 kilogr. d'acier fini, et que la houille ne peut être remplacée par le bois ni le charbon de bois, à cause des températures élevées qu'il faut produire, on voit que les localités dans lesquelles il convient de se placer, pour fabriquer l'acier, sont assez restreintes et se réduisent au voisinage des houillères en communication facile avec la mer ou avec les autres provenances de métal que nous avons indiquées.

La fabrication de l'acier, longtemps restreinte, parce qu'on n'employait ce métal que là où les propriétés spéciales que lui communique la trempe étaient indispensables, a pris, dans ces dernières années, un développement considérable ; cela tient à ce que, aujourd'hui, l'acier fondu doux fait concurrence au fer, partout où l'homogénéité du métal est indispensable ; aussi peut-on prédire, à coup sûr, que, avant peu, l'acier sera substitué partout au fer, non-seulement dans la chaudronnerie à vapeur, mais encore dans la confection de toutes les pièces de mécanique ayant un rôle important à remplir.

Il va sans dire qu'alors il sera *fondu* et non *corroyé;* car, si la substitution a sa raison d'être, ce n'est pas parce que le métal contient du carbone, mais uniquement parce qu'il est fusible et, conséquemment, conversible en pièces de toutes dimensions, homogènes et soudées, sans les chauffages qu'exige le corroyage et qui non-seulement détériorent le métal, mais encore lui font éprouver un déchet considérable.

Aujourd'hui on fond des aciers assez doux pour rester malléables comme le fer après la trempe ; c'est dire que partout où on emploie aujourd'hui les fers fins, et surtout partout où il faut une homogénéité chimique et mécanique irréprochable, on substituera les aciers fondus au fer. Mais cela ne pourra avoir lieu que quand nos exploitations de minerais en Algérie auront pris tout le développement que comporte cette modification, car ce n'est que là qu'on pourra puiser du minerai convenable en abondance.

Une des causes qui enrayent la généralisation de l'emploi de l'acier dans la construction des machines est l'ignorance dans laquelle sont les gens, les plus intéressés à l'employer, sur sa fabrication, et aussi les tentatives fâcheuses faites par certains industriels pour appliquer à cette

Digitized by Google

fabrication des fers ou des procédés reconnus depuis longtemps, par les gens compétents, comme tout à fait insuffisants. Ayant donné dans ce travers quand nous ne connaissions pas la question à fond, nous insisterons surtout, dans cette partie de notre ouvrage, sur les nécessités qu'il faut subir quand on veut faire de l'acier et sur la simplicité que présente cette fabrication comparée à celle du fer.

La fabrication de l'acier comprend, comme celle du fer, trois opérations fondamentales, savoir :

1° La génération du produit brut;
2° Les préparations;
3° La fabrication du produit fini.

# LIVRE PREMIER.

## DE LA GÉNÉRATION DE L'ACIER.

Quand on veut obtenir des aciers fins, il n'y a qu'un seul mode de génération, savoir : *la cémentation des fers purs dans le charbon de bois.*

Quand, au contraire, on veut obtenir des aciers communs, non-seulement il y a plusieurs matières premières qui peuvent être employées, mais encore il existe plusieurs moyens pour les convertir en acier.

Nous ne reviendrons pas ici sur ce que nous avons dit (page 62) concernant la conversion du minerai de fer en acier, soit par la méthode catalane, soit par le procédé *Chenot*. Nous ne parlerons pas non plus de la conversion de la fonte en acier, soit au feu d'affinerie, soit au four à puddler; nous avons donné (page 73) d'assez longs développements sur cette fabrication. Nous n'avons à envisager ici que la génération de l'acier

1° Par cémentation du fer solide dans le charbon de bois;
2° Par fusion du mélange de fer et charbon de bois dans un creuset;
3° Par traitement de la fonte dans le feu *rivois*.

### CHAPITRE PREMIER.

#### DE LA CÉMENTATION DU FER SOLIDE DANS LE CHARBON DE BOIS.

Nous avons dit (page 9) que :

Quand on soumet, pendant un temps suffisamment long, à une chaleur comprise entre le rouge-cerise et le rouge-blanc, un mélange de fer en barres plates et de charbon de bois placé

Digitized by Google

dans un vase clos, le carbone acquiert une mobilité atomique suffisante pour pénétrer dans le métal et s'y dissoudre.

Dans ce cas, la vitesse avec laquelle la pénétration a lieu augmente peu avec la température et diminue au fur et à mesure de son avancement.

La saturation du métal pénétré, au contraire, augmente avec la température. Cependant, quand on retire de la cémentation une barre cémentée peu de temps à haute température, on remarque que le degré de saturation en carbone est plus fort à la superficie qu'au centre. Les barres cémentées ne sont donc théoriquement homogènes que quand la température a été maintenue constante suffisamment longtemps pour que la saturation correspondant à ladite température ait eu le temps de se généraliser.

Quand l'acier est destiné à la fusion, on ne tient compte de cette condition que pour les qualités tout à fait supérieures, parce qu'elle se remplit d'elle-même dans le creuset sur le métal liquide. Mais quand l'acier est destiné soit à l'étirage direct, soit au corroyage, la réussite de la cémentation n'est possible qu'autant qu'elle a été remplie. Aussi la durée de la cémentation est-elle, dans ce second cas, double de ce qu'elle est dans le premier.

Pour barres plates de 0m.016 à 0m.020, la cémentation pour fusion dure de douze à quinze jours, suivant le degré moyen de dureté que l'on veut obtenir; celle pour étirage direct ou corroyage est, au contraire, de vingt-cinq à trente jours.

De même qu'il n'est pas possible, dans un appareil de chauffage, de communiquer partout la même température, de même aussi il n'est pas possible de retirer d'une même caisse des barres également cémentées.

Comme nous l'avons vu en parlant du chauffage du fer dans les fours à souder, non-seulement la température diminue au fur et à mesure que les points chauffés sont plus éloignés du foyer, mais encore elle pénètre avec une immense difficulté à cœur des corps solides, qui ne la reçoivent que superficiellement.

Le moyen le plus convenable pour régulariser la température dans l'intérieur des corps chauffés extérieurement, moyen que l'on emploie avec succès pour les caisses à cémenter, est de chauffer fort pendant un quart de la durée totale du chauffage, puis ensuite de ralentir la combustion, non en bouchant le cendrier ou en diminuant la charge du combustible sur la grille, mais en fermant en partie les orifices d'évacuation de la fumée. Si le travail est bien compris, la température des points les plus éloignés du foyer reste constante, tandis que, la combustion devenant moins active, la température du foyer s'abaisse et se nivelle avec la précédente. Le corps, maintenu ensuite dans cet état pendant un temps suffisamment long, finit par affecter intégralement la température voulue.

Les aciers destinés au corroyage étant assez généralement doux, il est facile d'arriver au résultat voulu sans avoir à craindre de mettre en fusion ceux qui occupent les parties basses de la caisse. Cependant, malgré ces précautions, on obtiendrait encore des aciers trop durs dans le fond des caisses, si on n'avait soin de leur donner pour cément du charbon de bois déjà affaibli par les cémentations précédentes auxquelles il a servi, et préalablement mélangé avec du sable ou des cendres. Il y a là un tour de main très-simple qu'il nous suffit d'indiquer et qui consiste à affaiblir petit à petit la force dissolvante du charbon de bois, depuis la partie supérieure de la caisse jusqu'à la partie inférieure.

Un des soins à prendre pendant la cémentation du fer, c'est de ne jamais produire des changements brusques dans la température, et, pour cela, de fermer les orifices d'échappement du gaz toutes les fois qu'on décrasse les grilles.

Les caisses à cémenter ne sont pas d'un seul morceau, et elles le seraient, que les changements

Digitized by Google

brusques de température les feraient casser; mais elles sont en briques réfractaires, assemblées avec le plus de soin possible, mais susceptibles de dilatation et de contraction sous l'influence de la température.

L'entrée de l'air dans les caisses à cémenter doit être évitée par tous les moyens possibles; néanmoins il est rare que, par suite de la négligence des chauffeurs, il n'en entre pas quelque peu.

Quand l'air pénètre dans les caisses, non-seulement il brûle le charbon de bois, mais encore il attaque le métal et le convertit superficiellement soit en fer reconnaissable à sa cristallisation brillante, soit en fer brûlé.

Comme l'air qui pénètre n'est autre chose que celui qui a passé par le foyer, il est accompagné de soufre; aussi les aciers brûlés dans les caisses, quelque peu attaqués qu'ils soient, doivent-ils être éliminés et réservés pour les fabrications de produits communs.

Par suite de la difficulté que présente un chauffage uniforme, la dimension des caisses à cémenter n'est pas indifférente. En général, on les accouple deux à deux (pl. 45, fig. 1) et on les chauffe au moyen de deux foyers placés bout à bout (fig. 2, 3, 4, 5, 6), de manière que chaque foyer chauffe deux demi-caisses. Avec cette disposition, on peut leur donner les dimensions *intérieures* suivantes, savoir :

| | |
|---|---|
| Longueur. . . . . | 3m.60 |
| Largeur. . . . . | 0m.70 à 0m.75 (neuves) |
| Hauteur. . . . . | 1m.80 |

et charger, dans chacune d'elles, de 8,000 à 11,000 kilog., suivant les échantillons.

Dans certaines usines, on chauffe les caisses à cémenter par la chaleur perdue soit des fours à souder, soit des hauts fourneaux. C'est fort économique, mais, comme on vient de le voir, c'est scabreux.

Nous avons assisté une fois à l'embrasement intégral d'une caisse chauffée par la chaleur perdue d'un four à souder; tout le métal a été converti en oxyde fondu, et il a fallu démolir le four pour le retirer. Les variations de température sont trop grandes dans les fours à souder pour que les briques des caisses à cémenter restent longtemps hermétiquement jointes; les hauts fourneaux, ne produisant que des gaz combustibles que l'on brûle sous les caisses, ne donnent probablement pas lieu aux mêmes variations; toujours est-il que dans les aciéries on préfère chauffer par des grilles spéciales. Il est vrai que là on ne pourrait guère utiliser que les chaleurs perdues des fours à fondre, ce qui ne serait pas facile, surtout à la houille, parce qu'elles sont très-élevées, et que, dans tous les cas, elles sont intermittentes. La cémentation n'étant nécessaire, comme nous le verrons tout à l'heure, que pour les aciers fins, il est probable que cette innovation sera de plus en plus reculée par les bons fabricants d'acier.

Quel que soit le mode de chauffage employé, la cémentation ne comporte qu'une température modérée, parce que, la solubilité du carbone dans le métal étant proportionnelle à la température, et la fusibilité du métal carburé étant proportionnelle à la quantité de carbone dissoute, il arrive souvent, quand on élève trop la température, que le métal contenu dans les parties inférieures de la caisse entre en fusion et se convertit en *fonte* d'autant plus fluide qu'il y a toujours excès de carbone en contact; il coule alors, dans le chauffage, à travers les joints des briques du fond; aussi la cémentation ne peut être appliquée que jusqu'à un certain point à la préparation d'aciers très-saturés. Voilà pourquoi *Karsten* (§ 178) n'a jamais trouvé dans les aciers cémentés plus de 1.75 pour 100 de carbone.

Les caisses à cémenter se font, avons-nous dit, en briques réfractaires. Le fond se com-

Digitized by Google

pose de deux lits de plateaux superposés, ayant 0m.10 à 0m.12 d'épaisseur chacun, dont les joints sont à *redans* et couverts partout (fig. 7).

Ces plateaux reposent sur les carnaux de fumée, dont nous parlerons plus loin, et sont rodés les uns sur les autres de manière que le contact soit parfait.

Les parois verticales sont en briques de différentes formes. Nous avons vu employer avec succès une brique à joints obliques qui permet de donner à la caisse une très-faible épaisseur (fig. 8, 9, 10). Mais ce n'est pas le modèle qu'on emploie généralement; on préfère avoir deux modèles distincts et alternés de lit en lit, représentés dans les parties *a* et *b* de la fig. 2, représentant une coupe horizontale dans deux caisses à cémenter accouplées. En supposant des caisses de 0m.73 de largeur et *a b* (fig. 1) la largeur totale des constructions en briques réfractaires, c'est-à-dire des parties en contact avec le feu, on donne aux épaisseurs des pleins et vides les dimensions suivantes, savoir :

| | | |
|---|---|---|
| Nos 1. | Plein. . . . . | 0m.13 |
| 2. | Conduit de fumée. . . . . | 0m.14 |
| 3. | Plein. . . . . | 0m.13 |
| 4. | Caisse. . . . . | 0m.73 |
| 5. | Plein. . . . . | 0m.17 |
| 6. | Conduit de fumée. . . . . | 0m.13 |
| 7. | Plein. . . . . | 0m.17 |
| 8. | Caisse. . . . . | 0m.73 |
| 9. | Plein. . . . . | 0m.13 |
| 10. | Conduit de fumée. . . . . | 0m.14 |
| 11. | Plein. . . . . | 0m.13 |
| | Total. . . . . | 2m.75 |

Les caisses à cémenter, comme les hauts fourneaux, se composent de deux parties, savoir :

Le massif extérieur, fixe (fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6), n'ayant aucun contact avec le combustible, dont le but est de soutenir l'intérieur et d'empêcher la déperdition du calorique.

Les constructions intérieures (fig. 11, 12, 13), renouvelables à volonté et constituant l'appareil proprement dit.

M. *Picquet*, ingénieur, a publié dans le *Bulletin de la Société des ingénieurs civils* (année 1850) un mémoire concernant la construction des caisses à cémenter, auquel nous empruntons une partie des figures et qu'on peut consulter avec fruit pour l'établissement de ces appareils. Nous n'entrerons donc pas dans des détails sur cette construction, nous ajouterons seulement que :

Les fours à cémenter doivent, autant que possible, être noyés dans le sol, de manière que le sommet des caisses soit à 0m.60 environ au-dessus du sol, non-seulement pour faciliter le service de l'enfournement et du défournement, mais encore parce que, dans ces appareils, comme dans les hauts fourneaux, la poussée est énorme, et qu'il convient de prendre pour eux toutes les précautions que nous avons prescrites concernant les hauts fourneaux.

En outre, il convient que les fours soient, non isolés, mais réunis par groupes de six à huit, et plus si cela est possible, parce qu'ils conservent bien mieux la chaleur et dépensent moins de combustible pour le chauffage. A l'aciérie de *Lorette*, où les fours accouplés sont au nombre de six, la durée du chauffage des fours extrêmes est toujours d'un ou deux jours plus longue que celle du chauffage des fours intermédiaires.

Dans ce cas, les fours à cémenter affectent la forme de la fig. 4, l'intérieur enlevé, et les chauffeurs se tiennent dans des caves, ce qui est d'autant plus convenable, que ces appareils

Digitized by Google

n'ayant pas toujours des halles contiguës pour abriter les matières, ces hommes qui travaillent à toute heure de la nuit et du jour, en toute saison, ne sont pas ainsi exposés aux intempéries de l'atmosphère.

*Travail des caisses à cémenter.*

Le fer qu'on soumet à la cémentation est généralement en barres plates ayant 0m.05 de moins en longueur que la caisse et, en section, de 0m.04 à 0m.06 de large sur 0m.012 à 0m.015 d'épaisseur. Ces dimensions indiquent que le métal ne peut être affecté à la confection de grosses pièces qu'à l'aide de la fusion ou du corroyage. On peut certainement cémenter de plus forts échantillons, mais alors il faut se résoudre ou à n'obtenir qu'une cémentation superficielle, ou à faire durer la cémentation très-longtemps.

Le carbone que l'on emploie, pour la cémentation, est le charbon de bois cassé en morceaux de la dimension d'une noisette plus ou moins grosse, ou du poussier de charbon provenant des chantiers ou bateaux de ce combustible.

Le poussier de charbon de bois, convenable dans les cémentations lentes, c'est-à-dire pour les aciers à corroyer, convient moins pour les aciers à fondre que le charbon de bois pulvérisé, parce qu'il est nécessairement chargé de matières étrangères et moins énergique. Aussi, quand on fait toutes les cémentations au poussier de charbon, convient-il de le laver avant de l'employer.

Les charbons neufs qui ont servi une fois peuvent encore s'employer pour la cémentation; mais, comme les poussiers, ils ont besoin d'être lavés pour être débarrassés des cendres qu'ils contiennent. Malgré cette précaution, le charbon vieux n'est jamais aussi énergique que le neuf; aussi, comme le fond des caisses chauffe plus que le haut, quoi qu'on fasse, convient-il de l'employer de préférence dans le fond et de réserver le neuf pour le haut.

Le chargement des caisses s'effectue d'une manière très-simple. Quand le maçon, chargé de l'entretien des caisses à cémenter, a fait sa garniture intérieure en mortier réfractaire et bien bouché tous les joints que le feu ouvre à chaque cémentation, on met au fond de la caisse un fort lit de charbon vieux, puis ensuite des lits consécutifs de barres à plat contiguës, sans se toucher, et de charbon de bois, jusqu'à 0m.20 au-dessous du haut de la caisse. On recouvre alors le tout d'une forte épaisseur de vieux charbon, et on fait un couvert en terre à brique rouge ordinaire, que l'on mélange de sable s'il a de la tendance à rétracter et à se fendre pendant la cuisson.

Bien que la cémentation du fer n'introduise dans le métal que 1.5 pour 100 environ de carbone pur, la consommation en charbon de bois varie entre 2.5 et 3 pour 100 d'acier cémenté, et, pour 1,000 kilog. de fer en cémentation, on met dans la caisse 15 à 1,600 kilog. de charbon de bois, soit 15 à 16 pour 100, composé de moitié charbon neuf et moitié charbon vieux lavé.

Le volume de la caisse étant, abstraction faite de la place occupée par le couvert et l'enduit intérieur,

$$3.60 \times 0.72 \times 1.60 = 4^{mc}.15$$

et celui du fer ayant pour densité 7.5, en supposant un chargement de 10,000 kilogr.

$$\frac{10000}{7.500} = 1^{mc}.33,$$

le volume occupé par le charbon de bois est :

$$4.15 - 1.33 = 2^{mc}.82,$$

correspondant à un poids, par mètre cube, de :

$$\frac{1550}{2.82} = 550 \text{ kilog.},$$

Digitized by Google

au lieu de 200 à 220 qu'il pèse en morceaux; c'est dire que l'espace réservé aux gaz est très-faible. Cependant le numéro d'octobre 1859 du *Journal de pharmacie* publie un mémoire de M. *Saunderson*, ayant pour but de démontrer que la cémentation du fer dans le charbon de bois ne peut avoir lieu sans la présence de l'azote. Il est bien évident qu'au commencement de la cémentation il y a de l'azote dans les caisses à cémenter; mais il y a aussi de l'oxygène qui, en se convertissant en oxyde de carbone, chasse en grande partie cet azote et rend difficile à expliquer l'influence de ce gaz sur la cémentation. En effet, l'azote ne peut pas être considéré ici comme remplissant, uniquement, le rôle de gaz soluble, car alors l'oxyde de carbone remplirait le même but; c'est donc comme cyanogène qu'il faut supposer qu'il agit dans la cémentation. Or ce gaz ne se combine qu'à l'état naissant et ne peut former du cyanogène pendant la cémentation. Il est vrai que la cémentation est plus prompte quand, au lieu de charbon de bois, on emploie des matières organiques telles que les graisses, les huiles, les cuirs, les cornes, etc.: mais cela tient, à notre avis, uniquement à ce que là, comme dans l'acier, le carbone est à l'état de dissolution sinon intégrale, du moins partielle, et que, de dissolvant à dissolvant, le passage du corps soluble est plus facile que de l'état pur à celui de dissolution. Cela est si vrai, que la cémentation du fer dans le charbon de bois en poudre ou dans le graphite pur réduit en poudre impalpable et comprimé autour du métal, de manière à chasser tout l'air, s'effectue aussi bien que dans le charbon en morceaux. Ce qui rend le charbon en morceaux préférable, c'est la manœuvre de la matière à l'extérieur et à l'intérieur des caisses. La poussière que, dans cet état, il fait est assez intense pour dégoûter de ce travail un grand nombre d'ouvriers. Que serait-ce si on l'employait en poudre impalpable?

La durée de la cémentation est, avons-nous dit, de douze à trente jours, suivant le degré moyen de dureté et de régularité dans l'acier que l'on veut atteindre. Les aciers pour fondre ne demandent jamais plus de quinze jours de chauffage en qualité ordinaire et de vingt jours en qualité supérieure. Les aciers à corroyer, au contraire, exigent de vingt-cinq à trente jours de cémentation lente et à basse température.

La consommation en houille de bonne qualité est, en moyenne, de 140 à 150 kilog. par 100 kilog. d'acier cémenté; pour les cémentations de douze jours à haute température, elle ne dépasse pas 100 kilog., soit 1 charbon pour 1 acier, mais pour les cémentations lentes elle dépasse souvent 200 kilog., soit 2 charbon pour 1 acier.

On peut établir ainsi qu'il suit les frais de cémentation pour 20,000 kilog. moyens, savoir:

| | |
|---|---|
| Chargement des caisses. . . . . | 25 fr. |
| Chauffage, 30,000 kilog. houille à 1 fr. 50 c. les 100 kilog. dans une usine convenablement située. . . . . | 450 |
| Deux chauffeurs, 20 jours à 6 fr. . . . . | 120 |
| Charbon de bois consommé entièrement, 500 kilog. à 10 fr. . . . | 50 |
| Défournement. . . . . | 25 |
| Entretien. . . . . | 100 |
| Décrassage des cendriers. . . . . | 30 |
| Frais généraux. . . . . | 400 |
| Total. . . . . | 1,200 fr. |

Soit, pour 100 kilog., 6 fr., c'est-à-dire :

| | |
|---|---|
| Pour aciers à fondre. . . . . | 5 fr. |
| Pour aciers à corroyer. . . . . | 7 fr. |

Un four fait, par an, douze cémentations en acier à fondre et huit cémentations en acier à

Digitized by Google

corroyer; moyenne, dix cémentations. Les caisses durent trois, quatre et cinq ans sans être refaites entièrement; mais dans cet intervalle de temps il est plusieurs fois nécessaire de refaire les parois longitudinales qui, sous l'influence du feu, ne pouvant s'allonger par suite de la résistance du massif extérieur, se courbent et diminuent notablement la capacité des caisses.

---

## CHAPITRE II.

### DE LA FUSION DU MÉLANGE : FER ET CHARBON DE BOIS, DANS UN CREUSET.

Quand on met ensemble dans un creuset :

20 kilog. fer coupé en morceaux,
De 200 à 400 grammes charbon de bois,
De 100 à 200 grammes manganèse, comme fondant,

et soumet le tout pendant trois ou quatre heures à l'action d'un feu violent, le carbone se dissout intégralement dans le métal qui fond et, coulé en lingotière, donne un lingot d'acier fondu, sans avoir préalablement subi la cémentation.

Faut-il conclure de là que la cémentation est inutile pour la fabrication de l'acier fondu? A cela, il n'y a qu'une réponse, que nous avons déjà faite en parlant des marteaux de moulin (page 329) : Si l'acier n'est pas destiné à la trempe, oui, la cémentation est inutile pour la fabrication de l'acier fondu; mais, si l'acier est destiné à être trempé, la cémentation préalable est d'autant plus indispensable et doit se rapprocher d'autant plus de celle que nécessite le corroyage que l'acier est destiné à être trempé plus vif et à vaincre des résistances plus grandes. Ainsi, en principe, pour les aciers fins devant jouir d'une très-grande élasticité ou travailler comme filières, tarauds et burins :

1° Cémentation homogène et, par conséquent, lente,
2° Fusion et repos dans le creuset de l'acier liquide avant la coulée,
3° Double fusion au besoin,

sont les conditions à remplir pour arriver au but qu'on se propose.

Pour aciers communs, au contraire, n'exigeant pas une grande élasticité et destinés à des usages où la trempe n'est pas nécessaire :

1° Pas de cémentation;
2° Fusion du fer avec le charbon de bois.

Seulement, dans ce dernier cas, il convient de n'employer que des fers corroyés et aussi aciéreux que possible. Les fers à nerf sont si longs à fondre, que, quand on les emploie, on trouve quelquefois dans les lingots, en les cassant, des lentilles de fer à nerf qui n'a pas eu le temps de se dissoudre intégralement dans l'acier.

Quant aux détails de l'opération, ils appartiennent de droit à l'opération de la fusion, dont nous parlerons plus loin.



Digitized by Google

## CHAPITRE III.

### DE LA MÉTHODE RIVOISE.

La méthode rivoise, qui se pratique presque exclusivement dans le département de l'Isère, est une espèce de puddlage au charbon de bois qui consiste à décarburer petit à petit la surface du bain de fonte liquide et à retirer le métal du bain, en boules plus ou moins grosses, au fur et à mesure qu'il se solidifie.

Comme on le pressent, d'après cette définition, la sole de l'appareil ne peut être, comme celle du four à puddler, en scories ou en battitures fondues. Le feu *rivois*, en effet, est une espèce de creuset brasqué, ou mieux de *creusée* dans le sol, brasquée avec du charbon de bois réduit en pâte assez consistante pour ne pas remonter au-dessus du bain quand la fonte est liquide. On y charge 1,400 kilog. de fonte environ que l'on recouvre de charbon de bois allumé et soufflé par une tuyère à axe mobile. La chaleur produite par la combustion met la fonte en fusion; quand le métal est entièrement fondu, on dirige le vent de la tuyère sur la surface du bain et, au besoin, on ajoute des scories riches, et par conséquent décarburantes. Au bout de quelque temps, on ramasse une boule de 25 à 30 kilog. que l'on retire du feu et que l'on cingle. Cette boule est tantôt fonteuse, tantôt aciéreuse, tantôt ferrugineuse, et se cingle plus ou moins bien, suivant le cas.

L'opération dure trente heures et produit de 40 à 45 boules, avec un déchet de 13 à 14 pour 100.

L'opération terminée, on met les boules cinglées dans un four à souder, d'où on les retire suantes pour les serrer au marteau. Le serrage s'opère d'autant plus facilement que le métal est plus décarburé; mais comme ce n'est pas du fer que l'on veut obtenir, mais bien de l'acier, les boules les meilleures sont celles qui se cinglent le plus mal; alors on les remet dans le four et les recingle jusqu'à temps qu'elles soudent et s'étirent facilement en barres. Il est des boules qui retournent ainsi jusqu'à dix fois au four à souder : celles-là sont réellement de l'acier homogène; mais les autres sont des mélanges hétérogènes de fer et d'acier à divers degrés de dureté. Aussi, quand on emploie de l'acier de *Rives* pour le corroyage, convient-il préalablement de l'étirer en barres plates et le cémenter.

Nous l'avons dit, les aciers de Rives sont de très-bons aciers; ils ont l'inconvénient de contenir une petite proportion de sulfure de cuivre qui les fait quelquefois criquer; mais, au corroyage, on évite en partie cet inconvénient en les mettant à l'intérieur des *trousses* ou *paquets*, jamais en couverture.

La méthode rivoise, bonne pour les fontes aciéreuses éloignées des centres de consommation et coûtant beaucoup de transport, disparaîtra petit à petit quand les chemins de fer permettront de les expédier sans trop de frais soit dans le bassin de la Loire où sont les aciéries, soit dans les villes où ces fontes luttent avantageusement, pour la seconde fusion, avec les fontes anglaises. Le chemin de fer de Grenoble a déjà eu pour effet non-seulement de diminuer les frais de transport au loin des fontes de l'Isère, mais encore de procurer à ce département la houille nécessaire au ressuage des boules à un prix qui permet aujourd'hui de continuer à les convertir en acier avec avantage. Mais nous doutons fort qu'il s'établisse de nouvelles usines pour cette opération, parce que le procédé rivois est, par lui-même, plus coûteux que les autres, sans être plus avantageux, sous le rapport de la qualité.

Digitized by Google

# LIVRE II.

## DES PRÉPARATIONS.

Les préparations sont au nombre de deux principales et distinctes, savoir : la *fusion* et le *corroyage*.

La *fusion* a pour but non-seulement de fabriquer de l'acier homogène, mais surtout d'éviter la confection des *lopins* de bouts de barres, qui n'aboutit qu'à fabriquer du fer fort, ce qui est trop coûteux quand on emploie, pour matière première, de l'acier cémenté.

Le *corroyage* est une méthode de fabrication antérieure à la fusion, qui a survécu néanmoins parce qu'il est une foule d'outils, notamment ceux qu'on emploie pour le travail du bois, qui exigent plus de ténacité que de dureté et pour lesquels on substitue bien tous les jours l'acier fondu à l'acier corroyé, mais que beaucoup de consommateurs continuent, par routine, à exiger en acier corroyé.

## TITRE Ier.

### DE LA FUSION DE L'ACIER.

De tous les procédés imaginés pour fondre les métaux, un seul a jusqu'ici été exclusivement applicable à l'acier, savoir :

Le *creuset*, chauffé soit par le contact d'un combustible sec embrasé soit par la flamme d'un combustible cru ou simplement d'un gaz combustible en ignition.

Toutes les fois que l'on a voulu fondre l'acier au contact de l'air ou sous une couche de laitier destinée à le préserver de l'action de ce dernier, on l'a toujours décarburé plus ou moins intégralement et obtenu plutôt pâteux que liquide; en outre, l'opération de la coulée a présenté des difficultés insurmontables. Nous ne prétendons pas que l'on n'arrivera pas un jour à fondre l'acier sur la sole creuse d'un four à réverbère, mais nous avons la conviction que les personnes qui liront ce que nous allons dire de cette opération seront peu tentées de faire elles-mêmes les essais que comporte cette innovation.

Quand le chauffage du *creuset* a lieu par contact d'un combustible *sec* embrasé, le combustible exclusivement employé est le *coke* de première qualité, c'est-à-dire provenant de houille supérieure *lavée* et ne contenant plus, après carbonisation, la moindre proportion de matières volatiles, ce qui se reconnaît à la texture argentine et sonore du coke. Le charbon de bois, quelque bien carbonisé qu'il soit, est insuffisant pour produire la température que comporte la fusion de l'acier, surtout quand il est doux; sa densité, qui est moitié de celle du coke, fait qu'une même quantité de calorique produit, à poids égal et dans le même temps, occupe un volume double de celui qu'elle occupe quand elle provient de la combustion du coke. La densité ou intensité du

Digitized by Google

calorique produit est alors moitié moindre, et il faut, pour faire atteindre au *charbon de bois* en combustion une température donnée, un temps et une consommation qui sont à peu près doubles de ce que sont ce temps et cette consommation pour le *coke*.

Nous insistons sur ce point, parce que, quand il s'agit de fusion d'acier, il faut bien se pénétrer de cette vérité, à savoir que :

La question n'est pas simplement d'obtenir la température nécessaire à la fusion, mais bien d'obtenir cette température dans le plus bref délai possible, parce que, tant que cette température n'est pas atteinte, la fusion n'a pas lieu et la consommation du combustible s'effectue en pure perte.

Quand le chauffage du *creuset* a lieu par la flamme d'un combustible *cru*, le combustible qu'il convient d'employer de préférence est la houille grasse et peu chargée de cendres : *grasse*, parce qu'il faut de la flamme, non pas très-longue, parce que les creusets sont très-près du foyer, mais très-intense; *peu chargée de cendres*, parce que ces dernières se convertissent en mâchefer qui encrasse d'autant plus les grilles, que, le tirage s'effectuant à vent forcé, le décrassage de ces dernières ne peut avoir lieu qu'à la fin de chaque opération.

Cependant il serait fort important que l'on pût fondre l'acier soit au contact du *charbon de bois*, soit par la flamme du *bois sec*. On comprend, d'après ce que nous venons de dire, que, en ce qui concerne le *charbon de bois*, il faudrait pouvoir doubler sa densité; quant au *bois* sec, nous pouvons nous tromper, mais nous croyons qu'on parviendra à le substituer à la houille si on se pénètre bien des principes que nous avons exposés (page 43) en parlant du chauffage, et sur lesquels nous reviendrons lorsqu'il sera question de la fusion de l'acier au four à réverbère. La puissance calorifique du bois sec est moitié de celle de la houille, il est vrai; mais, comme il n'y a pas contact entre le combustible et le creuset, on peut obtenir avec le bois une flamme ayant même densité calorifique qu'avec la houille, en brûlant dans le même temps une quantité double de ce combustible. Pour notre part, nous serions invité à faire des essais dans ce sens, nous n'hésiterions pas.

Quand le chauffage a lieu par la flamme d'un *gaz combustible* en ignition, le cas est absolument le même que s'il s'agit de substituer le bois à la houille. La température de fusion est d'autant plus promptement atteinte, que la quantité de calorique développée par seconde autour du creuset est plus grande.

Quel que soit le mode de chauffage du creuset employé, les opérations de la fonderie de l'acier sont, à très-peu près, identiques; mais il n'en est pas de même du chauffage proprement dit; aussi, laissant de côté les procédés de chauffage inusités, nous allons envisager la fonderie de l'acier sous quatre points de vue, savoir :

1° Les creusets;
2° La fusion au coke;
3° La fusion à la houille;
4° Les opérations indépendantes du procédé de fusion.

---

## CHAPITRE PREMIER.

### DES CREUSETS.

Les creusets à fondre l'acier se font en terre réfractaire de première qualité; mais, comme plus l'argile est pure, plus elle retraite au feu et diminue de volume, on évite en partie cet incon-

Digitized by Google

viennent en composant les creusets de partie terre grasse et partie terre préalablement calcinée.

A cet effet, quand la terre grasse a été convenablement triturée comme pour fabriquer les poteries, on en fait des briquettes ayant 0m.20 à 0m.25 de long sur 0m.04 à 0m.05 d'équarrissage; quand ces briquettes sont suffisamment sèches, on les cuit dans un four à brique ordinaire jusqu'à la température rouge-blanc, de manière que, froides et frappées contre un corps dur, elles rendent un son clair. Ces briquettes sont ensuite pilées au *molleton* et passées au tamis de toile métallique fin, puis mélangées avec de la terre grasse, dans les proportions suivantes :

| | |
|---|---|
| Terre grasse en poudre. . . . . | 16 volumes. |
| Terre cuite *id.* . . . . . | 10 — |
| Décaillage de creusets ayant servi, *id.* . . . . . | 2 — |
| Coke ou graphite. . . . . | 1 — |
| Eau. . . . . | 13 — |
| Total. . . . . | 42 volumes. |

On emploie aussi en poids :

| | |
|---|---|
| Terre grasse. . . . . | 200 kilog. |
| Briquettes cuites. . . . . | 100 |
| Décaillage. . . . . | 50 |
| Graphite. . . . . | 14 |
| Eau. . . . . | 63 |
| Total. . . . . | 427 kilog. |

que l'on mélange bien et passe ensuite au tonneau malaxeur à hélice pendant une heure.

Le *décaillage* des creusets, que l'on ajoute en guise de terre cuite, a pour but d'économiser cette dernière, qui coûte le plus cher de toutes les matières employées; il consiste en culs de creusets cassés et complétement débarrassés, avant le broyage, des vitrifications qui les recouvrent.

Le *coke* en poudre, que l'on ajoute aussi en guise de terre cuite, a pour but d'affaiblir la cristallisation des silicates au moment où les creusets, sortis des fours pour la coulée, commencent à se refroidir, cristallisation qui tend à les faire éclater et les rend incapables de faire une autre coulée.

Mais il ne faut pas abuser du coke; quand le dosage en cette matière augmente, non-seulement les creusets se percent plus facilement et, comme on dit, *pissent*, mais encore l'acier se cémente et sort du creuset plus chargé en carbone qu'il ne convient. On pourrait, en substituant le charbon de bois ou le graphite au coke pilé dans la composition de la pâte, en augmenter la proportion, compter sur la cémentation qui se fait dans le creuset et employer soit des aciers plus doux, soit du fer pur; mais nous pensons qu'il est préférable, quand on en vient là, d'ajouter tout simplement, dans les creusets, du charbon de bois préalablement pesé; on est plus certain de la régularité du produit.

Quand la terre à creuset a été convenablement préparée, on la divise en pains ou balles que l'on pèse exactement, représentant chacune la matière nécessaire à la confection d'un creuset; ces balles sont ensuite remises au confectionneur de creusets.

Pour faire un creuset, on commence par donner à la balle la forme d'un prisme long à base carrée, puis avec une lame en forme de sabre on la tranche longitudinalement par le milieu, sur deux faces latérales, de manière à décomposer ce prisme en quatre autres qu'on laisse accolés et divise transversalement, au moyen de six, sept ou huit coupes, suivant le poids, en sept, huit ou neuf morceaux, soit, pour le prisme entier, vingt-huit, trente-deux ou trente-six morceaux. On prend alors ces morceaux l'un après l'autre et on les réunit en un seul bloc en les projetant avec violence sur une table en fonte, de manière à chasser l'air qu'ils renferment et à les bien souder

Digitized by Google

les uns aux autres. On a soin, à chaque morceau projeté, de passer le doigt sur le joint apparent à la surface du tas.

Quand les morceaux sont tous réunis en un seul, il est quelquefois utile de recommencer l'opération, et alors on leur redonne la forme primitive de prisme long à base carrée; si, au contraire, la terre a été bien travaillée au malaxeur, cette agglomération unique suffit, et on donne à la balle la forme d'un cylindre, ayant pour diamètre extérieur un peu moins que le diamètre que doit avoir le creuset. Cela fait, on pose la balle dans un moule en cuivre jaune (pl. 46, fig. 14), préalablement enduit d'huile de lin intérieurement et ayant la forme extérieure du creuset frais, puis on introduit un premier noyau (fig. 15) enduit d'huile de lin et traversé dans toute la longueur de son axe par une tige *a* en fer qui va se loger dans le trou *b* de la partie mobile *c* formant le fond du moule. Les choses ainsi disposées, on frappe sur la tête *d* du noyau avec un maillet en bois jusqu'à ce que la terre monte au niveau de la base supérieure du noyau *e f* (fig. 16). On retire alors le noyau en passant un fort goujon dans le trou *g* dont est percée la tête de la tige qui le traverse et en le faisant tourner sur lui-même, puis on le remplace par un deuxième noyau d'un diamètre plus fort et ayant exactement la forme intérieure du creuset.

Quand on l'a battu suffisamment, c'est-à-dire quand la paroi verticale du creuset est suffisamment montée hors du moule, ce qui se reconnaît à certains repères que l'on établit sur la poignée du noyau, on nivelle le bord supérieur avec un couteau, puis on retire le noyau de la même manière qu'on a retiré le précédent. Il s'agit maintenant de faire la bouche du creuset; à cet effet, on commence par resserrer les bords supérieurs au moyen d'un cône en fer-blanc (fig. 17) muni d'une poignée et que l'on fait tourner, toujours enduit d'huile de lin, sur le sommet du creuset, qui prend alors la forme de la fig. 18. On place sur cette bouche ébauchée un disque en bois (fig. 19) pour en régler l'ouverture, et on promène sphériquement sur le dôme du creuset un second cône en fer-blanc enduit d'huile de lin, dont le but est d'arrondir et serrer les parois de la bouche. Le creuset affecte alors la forme de la fig. 20 et est terminé. Pour le retirer du moule, on prend ce dernier par deux poignées dont il est muni et on le pose sur un tas plat fixé dans le sol, de manière que son extrémité libre porte sur le fond mobile *b* du moule. Ce dernier descend alors par son propre poids, puis, quand il est à terre, l'ouvrier prend le creuset à deux mains, par le fond, et le pose sur une planche à sécher. Cette manœuvre est assez délicate, surtout quand les creusets sont lourds.

Les creusets finis sèchent ainsi pendant vingt-quatre heures dans le local même où on les fabrique, c'est-à-dire sous l'influence d'une température de 10 degrés. Le lendemain, quand ils ont pris une certaine consistance, on les pose à terre et on bouche le trou fait au fond par la cheville du noyau. Le bouchage de ce trou exige les plus grands soins; aussi les ouvriers sont-ils responsables de la perte d'acier qui se fait, par leur négligence, dans cette opération.

Les chevilles bouchées, on pare les bouches et on porte les creusets dans un séchoir chauffé soit par un calorifère à air chaud, soit simplement par une grille dans laquelle on brûle des grésillons et menus cokes.

Le séchage doit être effectué avec une extrême lenteur. A cet effet, on place les creusets frais dans les cases du bas et loin du foyer, puis tous les jours on leur fait monter un étage où on les rapproche insensiblement du foyer.

Plus les creusets sèchent lentement et plus ils restent longtemps au séchoir, meilleurs ils sont pour la fonderie.

Dans les moments de presse, on emploie quelquefois des creusets qui n'ont que quinze jours de séchoir; mais c'est très-mauvais. Il faut qu'un creuset ait au moins six semaines de séchoir; mais, en bonne marche, les creusets doivent avoir trois mois, ce qui suppose un approvisionne-

Digitized by Google

ment de soixante-quinze jours, soit, pour une consommation de 100 creusets par jour, une réserve de $75 \times 100 = 7,500$ creusets.

Les creusets pour fusion au coke (fig. 21) pèsent, frais, 17 kilog. et, secs, 13 kilog.; ils contiennent 18 kilog. d'acier cémenté, en moyenne. Les creusets pour la fusion à la houille (fig. 22) pèsent, frais, 22 kilog. et, secs, 16 kilog.; ils contiennent 20 kilog. d'acier cémenté, en moyenne. Les creusets pour la fonderie à la houille sont donc plus épais que les creusets pour la fonderie au coke; cela tient à ce que les creusets à la houille ne sont pas soutenus dans les fours et font cinq et six coulées, tandis que les creusets au coke sont entourés de coke incandescent et ne font jamais que trois coulées.

La question des formes et dimension des creusets est de la plus grande importance; nous allons l'examiner.

*Forme.* — A capacité égale, convient-il de donner au creuset un grand diamètre et une petite hauteur ou un petit diamètre et une grande hauteur?

Pour répondre à cela, il suffit de se rappeler ce que nous avons dit concernant le chauffage à cœur des paquets pour grosse tôle (page 292), et on en conclura immédiatement que plus le diamètre du creuset est petit, plus la durée de la fusion est courte. Il faut donc que les creusets aient un diamètre minimum. Or ce diamètre a une limite; quand on fait les creusets trop hauts, ils résistent mal dans les fours et tendent à s'affaisser en se courbant sur eux-mêmes; en outre, leur arrachage est difficile, et il arrive souvent qu'on n'en arrache que la moitié.

Les creusets doivent avoir de $0^m.50$ à $0^m.60$ de hauteur pour être facilement manœuvrés à bras d'homme, ce qui, pour 18 à 20 kilog. de capacité, correspond à un diamètre extérieur, secs, de $0^m.20$ à $0^m.22$.

*Capacité.* — La capacité des creusets est déterminée par la facilité avec laquelle des hommes robustes peuvent les manœuvrer; en outre, comme ils sont exposés à pisser dans les fours, soit par la *cheville*, soit par de petits trous provenant d'une manipulation imparfaite de la pâte, soit par des fentes provenant d'un chargement d'acier mal fait, il convient de ne pas exagérer leur capacité et, préférablement, de les multiplier. On a fait des creusets contenant 40 kilog. d'acier; ces creusets, qui peuvent être bons pour ne faire qu'une coulée, comme pour les lingots de 4 à 5,000 kilogr., ne peuvent être arrachés par un seul homme. Les creusets contenant 20 kilogr. et pesant avec la terre 37 à 38 kilog. sont, à notre avis, les meilleurs; aussi y revient-on toujours.

Le volume de l'acier en morceaux étant le double du volume de l'air liquide, on peut couler, avec un seul creuset, 40 kilog., en transvasant un creuset dans l'autre. Dans ce cas, la charge du fondeur est de 57 à 58 kilog., quelquefois 60 kilog., ce qui est raisonnable.

---

## CHAPITRE II.

### DE LA FUSION DE L'ACIER AU COKE.

Ce procédé de fusion de l'acier, exclusivement adopté, dans tous les pays où on fabrique de l'acier fondu, jusqu'en 1854, époque d'où date la fusion de l'acier à la houille, s'effectue dans le four A, représenté en coupe verticale dans la fig. 23 de la pl. 46. Ce four est une capacité cylindrique, à section ovale ou rectangulaire, avec angles arrondis, qui contient tantôt deux, tantôt quatre creusets. Son enveloppe se compose de deux chemises, savoir: une chemise extérieure B en briques réfractaires et une chemise intérieure C en pisé réfractaire parfaitement comprimé

Digitized by Google

entre l'enveloppe B et un *noyau* en bois, de plusieurs morceaux, que l'on enlève quand la chemise est faite.

Au-dessous de la grille D est un cendrier F dont la hauteur est presque égale à celle d'un homme et qui communique avec une cave F régnant sous la fonderie, dans laquelle se tiennent les ouvriers chargés du décrassage. La grande hauteur que l'on donne au cendrier a pour but de permettre aux ouvriers de voir facilement sous la grille, leur soin devant se porter à la maintenir toujours claire, afin que l'air arrive en abondance dans le four et ne soit pas gêné par le mâchefer, qui bouche les barreaux quand on n'a pas soin de le faire tomber.

A la partie supérieure du four sont deux orifices : l'un G, appelé *bouche* du four, qui sert à introduire les creusets, l'acier et le combustible, ainsi qu'au défournement : l'autre I, appelé *passage* de la flamme, qui met le four en communication avec la cheminée J. La bouche G est fermée par un couvert H en terre réfractaire, muni d'un cadre en fer à poignées K servant à le manœuvrer. En L est un conduit communiquant, d'une part, avec le cendrier et, d'autre part, avec la cheminée, qui sert à régler le tirage du four, pour les motifs suivants :

Bien que, pour économiser le combustible, il convienne d'atteindre le plus tôt possible la température de fusion de l'acier, il ne faut pas cependant que la promptitude du chauffage nuise à l'opération en détériorant les appareils dans lesquels elle s'effectue. Or, si l'acier renfermé dans un vase clos ne craint pas la chaleur, il n'en est pas de même des creusets, qui, quoique déposés chauds dans les fours, exigent que la température croisse lentement pour ne pas se désagréger, la matière dont ils sont composés étant un des corps les plus mauvais conducteurs du calorique. Le conduit L sert donc principalement à donner de l'air froid dans la cheminée et à diminuer le tirage lorsqu'on met ou remet les creusets tièdes dans les fours.

Une fonderie au coke se compose d'un nombre plus ou moins considérable de fours tels que celui que nous venons de décrire, placés les uns à côté des autres, avec un espacement de 1 mètre de centre en centre, et ayant chacun une cheminée spéciale, à base carrée, de 0m.40 de côté, ayant 10 mètres de haut environ.

On a souvent essayé, surtout dans ces derniers temps, de chauffer des chaudières à vapeur par la flamme perdue des fours à fondre l'acier au coke. Bien qu'on ait obtenu d'assez bons résultats toutes les fois qu'on n'a pas donné à chaque four une trop grande surface de chaudière à chauffer, nous sommes, pour notre part, peu partisan de cette économie. En effet, si on observe la manière dont s'effectue le chauffage dans les fours en question, on remarque que la flamme qui se dégage du four doit être d'autant plus courte que le tirage est plus énergique. Or, pour utiliser la flamme perdue d'un four à fondre l'acier au coke, il faut compter ou sur la combustion de l'oxyde de carbone hors du four, ou sur le contact de l'acide carbonique produit dans le four. Mais, d'une part, quand on brûle de l'oxyde de carbone hors du four, c'est une preuve qu'il ne tire pas assez, et, d'autre part, le chauffage par contact seul d'un gaz chaud est peu avantageux. Il résulte de là que le chauffage des chaudières à vapeur à flamme perdue des fours à fondre l'acier au coke ne peut que contribuer à diminuer le tirage des cheminées, retarder l'époque où la température que comporte la fusion de l'acier sera atteinte et, conséquemment, augmenter la dépense en combustible. Un fait qui prouve combien la chaleur perdue d'un four à fondre au coke est moindre que celle d'un four à réverbère est le suivant :

Les cheminées des fours à fondre l'acier au coke n'ont de briques réfractaires à l'intérieur que sur une hauteur de 4m.50 environ, le surplus est en briques rouges. Quand nous fîmes à Lorette nos premiers essais de fusion à la houille, nous remplaçâmes six fours de fusion au coke par six petits fours à réverbère contenant chacun cinq creusets. En quelques jours les briques rouges des cheminées fondirent et, coulant le long des briques réfractaires, vinrent boucher les passages des

Digitized by Google

fours à réverbère. Heureusement ce que nous cherchions était trouvé, et nous pûmes entreprendre plus loin le même travail sur une grande échelle.

Nous concluons de ce fait qu'il faut n'utiliser les chaleurs perdues au chauffage des chaudières à vapeur que quand il y a flamme, et encore quand la flamme est, par la nature du combustible nécessaire, plus longue que l'appareil dans lequel elle doit fonctionner utilement. Ainsi nous ne comprenons pas plus le chauffage des chaudières à vapeur par la flamme perdue des *fours à cémenter* que par celle des fours à fondre au coke, parce qu'un four à cémenter marchant bien doit n'avoir ses cheminées ouvertes que pendant les deux ou trois premiers jours et doit ensuite chauffer à cheminées presque fermées.

On a fait aussi des essais pour fondre l'acier au coke à *vent forcé;* ces essais n'ont donné aucun résultat satisfaisant, parce que :

1° Quand les fours et cheminées sont bien établis, le tirage est suffisant pour fondre promptement;

2° Quand le cendrier est fermé par une porte, il n'y a plus moyen de décrasser la grille, et le vent forcé produit à peine le même résultat que l'air libre à grille claire. Il faudrait, pour tirer un bon effet du vent forcé, que la cave où les ouvriers décrasseurs se tiennent fût elle-même fermée et en pression, ce qui est impossible, puisque ce sont les mêmes ouvriers qui travaillent tantôt dans la cave, tantôt dans la fonderie. En outre, on pourrait, comme nous l'avons vu (page 344), ne donner le vent que pendant une partie du chauffage, ce qui serait sans importance.

---

## CHAPITRE III.

### DE LA FUSION DE L'ACIER A LA FLAMME DE LA HOUILLE.

La fusion de l'acier à la flamme de la houille, quoique résolue seulement depuis quelques années, n'est pas une question nouvelle; *Karsten* et *Lampadius* en parlent, le premier dans son *Manuel de la métallurgie du fer* (tome III, § 1386), le second dans son *Traité de métallurgie* (tome II, page 274). Tous deux néanmoins reconnaissent que le tirage par *aspiration*, à l'aide d'une cheminée, est insuffisant pour fondre convenablement; aussi n'a-t-on réussi à fondre l'acier à la flamme de la houille qu'en appliquant au *four à réverbère* le tirage par *inspiration*, dit *vent forcé*.

Il ne faudrait pas cependant conclure de ceci que le tirage par aspiration est inutile et que la fusion est exclusivement due au vent forcé. Tant que cette idée a dominé dans l'esprit des personnes occupées de la question, le nouveau procédé de fusion n'a pas progressé, et on pourrait dire, marchait à un abandon complet, parce que, sans qu'on puisse se rendre compte des motifs, tantôt on fondait parfaitement, tantôt on trouvait des *balles* au fond des creusets.

Le 27 septembre 1851, M. *Ballefin*, fabricant d'acier à Saint-Étienne, prenait un brevet d'invention pour *un procédé de fusion des métaux, et notamment de l'acier, au moyen de la flamme directe ou renversée de la houille et autres combustibles.*

Ce brevet, qui fut suivi de plusieurs additions, spécifiait, entre autres choses, que *le vent pouvait être forcé ou non.*

Quelque temps après, MM. *Debrye*, fabricant d'acier à Saint-Étienne, *Bouché*, maître chauffeur, et *Bouillet*, prenaient un brevet pour la fusion de l'acier au four à réverbère soufflé.

Nous ne parlerons pas du procès qui eut lieu, en 1854-55, entre les deux parties; mais nous



Digitized by Google

dirons que, les deux brevets appartenant aujourd'hui exclusivement à MM. *H. Petin, Gaudet* et comp., qui s'en sont rendus acquéreurs, si, aujourd'hui, la fusion de l'acier à la flamme de la houille réalise une notable économie, permet de couler facilement des lingots de 5 à 10,000 kilog., et de fondre des aciers tellement doux qu'ils ne prennent pas la trempe, c'est exclusivement à l'énergie et à la persévérance de *Bouché* qu'on le doit; car, lorsqu'il faisait ses essais, les fabricants d'acier, peu soucieux de démolir leurs fours pour en construire d'autres, ne l'encourageaient pas, tant s'en faut. Cependant, malgré l'isolement auquel se trouvait en quelque sorte condamné *Bouché*, pour qui la fabrication de l'acier était chose nouvelle, il parvint, grâce aux sacrifices que n'hésita pas à s'imposer M. *Debrye*, son associé, à fondre assez régulièrement les aciers doux, pour ressorts de chemins de fer, et à prouver que la fusion de l'acier à la flamme de la houille était non-seulement possible, mais encore plus économique que la fusion au coke.

C'est alors que la construction de deux fonderies d'acier à la houille, l'une à *Assailly*, l'autre à *Lorette*, fut décidée. Au moment de la construction de la fonderie d'*Assailly*, l'idée prédominante était encore que le vent forcé était l'agent principal de la fusion; aussi les cheminées ne furent-elles considérées que comme moyen d'évacuer les fumées après une très-longue circulation autour de chaudières chauffées à flamme perdue.

Par suite de cette disposition, les premiers résultats obtenus à *Assailly* furent peu satisfaisants; mais, l'expérience aidant, des modifications furent introduites dans la circulation des gaz brûlés, et aujourd'hui cette fonderie marche aussi bien que sa disposition le permet.

Convaincu, d'après ce qui se passait, qu'il existait encore une inconnue dans la solution du problème, nous demandâmes et obtînmes l'autorisation de faire des essais en petit avant d'entreprendre la construction de la fonderie de *Lorette*. Bien nous en prit; car, si nous eussions échoué, la fusion de l'acier à la houille risquait fort d'être reléguée dans le domaine des utopies. Des paris s'engageaient déjà parmi les ouvriers fondeurs, et bon nombre d'entre eux soutenaient qu'on ne pouvait fondre régulièrement qu'au coke.

Or, dans les pays pratiques, comme le bassin de la Loire, l'opinion des hommes d'expérience, à quelque classe qu'ils appartiennent, pèse d'un grand poids dans les décisions des chefs. Ce ne fut donc pas sans un certain plaisir que nous découvrîmes, après une semaine d'essais bien suivis, que, pour fondre à coup sûr l'acier à la *flamme* de la houille, il faut que cette dernière lèche constamment la sole sur laquelle reposent les creusets, parce que :

1° Quand il y a mélange d'acier solide et d'acier liquide dans un creuset, l'acier solide, étant le plus dense, repose toujours au fond du vase;

2° La fusion de l'acier solide par contact de l'acier liquide est tellement lente, qu'il ne faut jamais compter sur ce contact pour transmettre à l'acier solide la température que comporte sa fusion.

Il résulte de là que :

1° Quand on emploie le *vent forcé* seul pour opérer la combustion, la flamme, *lieu géométrique des températures maxima*, et par conséquent séjour des gaz les plus légers, se rend toujours à la partie supérieure du four, détériore inutilement la voûte de ce dernier, détruit les bouches et couverts des creusets, le tout pour opérer la fusion de *haut en bas*, c'est-à-dire mettre en fusion les aciers qui occupent la région supérieure des creusets seulement;

2° Quand, au contraire, on fait usage du *vent forcé* pour produire la température et du *tirage physique* au ras de la sole pour empêcher la flamme de s'élever dans le four et placer le lieu géométrique des températures maxima sur la sole même, la fusion s'opère de *bas en haut*, c'est-à-dire que, au fur et à mesure qu'un morceau est fondu, il remonte et cède la place à un autre qui ne l'est pas.

Digitized by Google

C'est en partant de ce principe que nous avons établi la fonderie de *Lorette*, représentée, à quelques modifications près, dans les fig. 24, 25 (pl. 47) et 26 (pl. 48).

Mais, avant de décrire cette fonderie, disons que tous les essais faits pour employer comme appareil de chauffage autre chose que le four à réverbère ont échoué, tantôt parce que la détérioration de l'appareil par le feu était trop prompte et l'entretien trop coûteux, tantôt parce que l'orifice d'échappement des gaz était mal placé. M. *Ballefin* a employé pendant assez longtemps au *Chambon*, près Saint-Étienne, la disposition représentée dans les fig. 27 et 28 (pl. 48). Comme il ne fondait là que des aciers à *limes*, c'est-à-dire très-saturés de carbone et, par conséquent, très-fusibles, il obtenait, malgré la position vicieuse de l'orifice d'échappement, des produits suffisamment fondus; nous ajouterons même qu'il n'y avait pas de tirage et que le chauffage se faisait exclusivement à vent forcé. Mais quand on voulut appliquer ce four à la fusion des aciers doux, non-seulement la durée de la fusion était très-longue, mais encore on trouvait des *balles* dans presque tous les creusets.

Si le four *Ballefin* n'avait présenté pour inconvénient que la mauvaise position de l'orifice d'échappement et l'absence de tirage, on aurait pu corriger cela; mais il y avait encore les deux compartiments du foyer qui usaient rapidement le mur intermédiaire et présentaient de grandes difficultés pour le décrassage.

La fonderie de Lorette se compose de vingt fours contigus, contenant chacun neuf creusets, représentés en détail dans la fig. 26 de la pl. 48. On a :

A, foyer soufflé alimenté par un gueulard situé dans le mur du fond.

B, sole en quartz pilé, dans laquelle sont légèrement enfoncés les creusets.

C, passage ou orifice d'aspiration.

D, chambre ou réceptacle des briques fondues et du quartz qui obstruent le passage C et empêchent la fusion intégrale dès que ce passage n'est pas complétement libre.

E, bouilleur régnant sous la fonderie et chauffé à flamme perdue.

Les vingt fours se divisent en quatre groupes de cinq fours à un bouilleur correspondant chacun à une chaudière à vapeur F (pl. 47, fig. 24). Les groupes sont espacés entre eux par des piliers en briques servant à soutenir la toiture.

Le mur G qui soutient le bouilleur n'a pas seulement pour but de préserver ce dernier de l'action directe de la flamme, il est encore nécessaire pour permettre aux creusets de derrière de fondre presque en même temps que ceux qui les précèdent dans le four. Si le mur G n'existait pas, le rayonnement de calorique qui aurait lieu par le passage C suffirait pour empêcher ces creusets de fondre intégralement. Comme, en outre, l'espace D est indispensable, et comme il faut qu'un homme puisse y descendre pour le vider quand il est plein, ce qui est d'autant plus pénible que tout y est à l'état de vitrification, on comprend maintenant pourquoi nous avons laissé une aussi grande distance entre le four et le bouilleur.

A *Lorette*, les bouilleurs sont cylindriques, et les chambres de vapeur sont évitées au moyen de tuyaux en cuivre débouchant, d'une part, à l'extrémité E des bouilleurs et, d'autre part, dans le réservoir de vapeur de la chaudière. Dans la fig. 24, nous avons cru devoir remplacer les bouilleurs cylindriques par des bouilleurs coniques qui permettent à la fois et à la vapeur formée en E de se rendre dans la chaudière, et aux dépôts, quand on vide la chaudière, de s'écouler par le bouchon du bouilleur.

Sur les vingt fours, il n'y en a jamais que huit en marche; nous verrons plus loin pourquoi. Cependant, toutes les vingt-quatre heures, aux changements de *recuites*, c'est-à-dire quand on renouvelle les creusets, il y a seize fours en feu pendant trois ou quatre heures, savoir huit qui font leur dernière coulée et huit en allumage. Eh bien! quoique ces seize fours débouchent tous

Digitized by Google

dans le même conduit H correspondant à la cheminée, jamais il n'y a eu ralentissement dans la fusion de quelques-uns d'entre eux, cela grâce à une disposition fort simple que nous avons appliquée au conduit H et que nous recommandons, savoir :

Chaque four est muni, à l'extrémité du chauffage à flamme perdue, d'une coulisse horizontale I qui le met en communication avec le conduit H au moyen de la gaine J. La voûte du conduit H, au lieu d'être cylindrique et horizontale, se compose d'une suite de voûtes cylindriques K, K', K'', etc. (pl. 49, fig. 29), inclinées de 0m.20 à 0m.25 sur toute leur longueur, de manière que les flammes arrivant par derrière ne coupent jamais le passage à celles de devant et marchent contiguës avec elles. Un regard, ménagé dans le mur de porte L, permet de voir sans cesse ce qui se passe dans la chambre D et de reconnaître, à la couleur du feu et à l'activité de la flamme, si le passage C est complétement libre.

On comprend que, quand il s'est agi d'adopter cette disposition et de ne mettre qu'une cheminée, quand il y en avait sept à *Assailly* pour vingt-huit fours, nous ayons d'autant plus hésité que nous savions le tirage physique indispensable. Eh bien! en donnant au conduit H et à la cheminée une section *minima* égale à 16 décimètres carrés par four marchant, nous avons pleinement réussi. Cela prouve qu'en industrie, quand on opère rationnellement, il est très-rare qu'on ne réussisse pas.

Il importait, à Lorette, de dépenser fort peu d'argent, parce qu'on redoutait un échec. Aussi cette fonderie n'a-t-elle pas coûté, toute garnie, plus de 5,000 fr. par four. Jamais fusion d'acier ne s'est faite, de l'avis de tous les ouvriers, aussi complétement et aussi régulièrement qu'elle se fait dans cette usine.

---

## CHAPITRE IV.

### DES OPÉRATIONS DE LA FONDERIE INDÉPENDANTES DU PROCÉDÉ DE FUSION.

Les opérations de la fonderie de l'acier se divisent en deux catégories, savoir :

Les opérations accessoires,
Les opérations principales.

Les opérations accessoires sont au nombre de quatre, savoir :

1° Le choisissage ou classage des aciers cémentés;
2° Le cassage des aciers cémentés;
3° La composition des charges à mettre dans les creusets;
4° La confection desdites charges.

Les opérations principales sont au nombre de cinq, savoir :

1° La recuite des creusets;
2° Le chargement de l'acier;
3° Le chauffage;
4° La coulée;
5° Le burinage des lingots.

En tout neuf opérations que nous allons passer successivement en revue.

Digitized by Google

§ 1er. Du choisissage ou classage des aciers cémentés.

Le choisissage est une des plus importantes, sinon la plus importante des opérations de la fabrication de l'acier tant fondu que corroyé, parce que les prétentions du commerce, sous le rapport de la dureté des aciers qu'on lui livre, deviennent de plus en plus exigeantes. En admettant 2 pour 100 pour la proportion de carbone renfermée dans les aciers vendus comme très-durs, la latitude accordée au fabricant pour les divers degrés de dureté qu'on lui demande ne dépasse certainement pas 0.15 pour 100, soit en plus, soit en moins.

A l'effet de satisfaire à ces exigences, on commence par casser les aciers sortant de la cémentation en morceaux de 0m.25 à 0m.30 de long, bouts écrus affranchis et mis à part, puis un ouvrier exercé examine la texture des deux bouts pour chaque morceau et les classe en huit catégories distinctes, dont les degrés de dureté sont indiqués par des points de la manière suivante, savoir :

| | | |
|---|---|---|
| 1° Aciers trop cémentés. . . . . | | sans marque. |
| 2° Aciers très-durs. . . . . | | 0 |
| 3° Aciers durs. . . . . | | 00 |
| 4° Aciers demi-durs ou durs doux. . . . . | | 000 |
| 5° Aciers demi-doux ou doux durs. . . . . | | 0000 |
| 6° Aciers doux. . . . . | | 00000 |
| 7° Aciers très-doux. . . . . | | 000000 |
| 8° Aciers ayant pris l'air, | durs. . . . . | B 0 |
| | moyens. . . . . | B 000 |
| | doux. . . . . | B 000000 |

Chaque qualité de fer cémenté porte un numéro, et chaque numéro une douzaine de cases, tant pour les morceaux que pour les bouts.

Les aciers autres que les morceaux s'emploient rarement seuls; il convient généralement de les écouler par petites fractions, soit dans les aciers de même qualité, soit, mieux, dans les aciers de qualité inférieure.

La texture des aciers cémentés est tantôt à facettes, tantôt à grains fins, suivant la température à laquelle ils ont été exposés dans les caisses; le fond des caisses donne généralement les premiers, et le haut donne les seconds. En outre, plus le fer cémenté est carburé, plus la couleur de sa texture est blanche et terne; les textures brillantes et tirant sur le bleu sont ferrugineuses et dénotent une cémentation peu avancée.

Il convient, dans le choisissage des aciers, de tenir compte des ampoules dont la surface des barres est recouverte. Les ampoules proviennent de la réaction du carbone en dissolution sur l'oxyde de fer en suspension; plus elles sont abondantes, plus mal le fer a été travaillé à la forge et plus la cémentation est lente autour des ampoules, la majeure partie du carbone dissous étant employée à saturer l'oxygène des pailles intercalées. Il en résulte que la texture des sections éloignées des ampoules diffère considérablement de celle des sections dans les ampoules mêmes, et que la présence des ampoules doit faire descendre de 1 ou 2 points les morceaux qui en sont chargés, suivant leur importance.

§ 2. Du cassage.

Le cassage des aciers se fait à la main et, autant que possible, au fur et à mesure des besoins, afin d'éviter les mélanges, tantôt par des ouvriers spéciaux, tantôt par les ouvriers de la fon-

Digitized by Google

derie ; mais la première méthode est la meilleure, quoique plus coûteuse. Chaque casseur est muni d'un marteau et d'une enclume, et peut casser, dans sa journée, de 1,000 à 2,000 kilog. d'acier cémenté, suivant sa dureté. Plus l'acier est dur, plus il est facile à casser, parce qu'il ne plie pas.

Quand, au lieu d'acier cémenté, on emploie du fer mélangé au charbon de bois, on le coupe à la cisaille en morceaux *triangulaires* ayant 0m.04 de côté environ. La forme triangulaire est plus avantageuse pour la fusion que la forme rectangulaire, parce que les angles, étant plus aigus, sont plus facilement attaqués par le carbone dans les creusets. Avec une cisaille marchant bien, on coupe ainsi jusqu'à 3,000 kilog. de fer en douze heures.

### § 3. De la composition des charges.

La composition des charges est une opération très-importante et ne doit, dans aucun cas, être laissée à la discrétion des ouvriers.

Quand le choisissage a été bien fait, on peut, avec une certaine expérience de la fabrication, faire ses compositions à coup sûr. Néanmoins il convient, quand on a beaucoup de lingots de même dureté à fabriquer, de faire étirer, tous les jours, quelques lingots de la coulée de la veille, pour se convaincre que la composition ne varie pas et que le service se fait bien dans toutes les parties de la fonderie.

La composition des charges doit tenir compte de :

1° La qualité que doit avoir le produit ;

2° Le degré de dureté qu'il doit affecter ;

3° Les quantités de matières disponibles.

En ce qui concerne la qualité des aciers fondus finis, on peut diviser ces derniers en cinq classes, savoir :

*Première classe.* — Aciers fins, indispensables pour *outils* à tourner ou buriner la fonte blanche, *marteaux de moulin, filières*, etc., quand on ne préfère pas les fabriquer en aciers à outils double fusion. Cette première classe ne comporte que le fer de Suède première qualité, cémenté et fondu seul ; nous en désignerons les divers degrés de dureté par

$$\times,\ \times\times,\ \times\times\times,\ \text{etc.},$$

marqués sur *plat*, en haut des lingots ou au bout des barres finies.

*Deuxième classe.* — Aciers à outils, première qualité, convenant pour *burins, tarauds, forets, instruments de chirurgie, limes fines, tôles*, etc., comportant soit du fer de Suède inférieur, soit un mélange de fer de Suède et de fer du Midi ; nous en désignerons les degrés de dureté par

$$\frac{\times}{\times},\ \frac{\times\times}{\times\times},\ \frac{\times\times\times}{\times\times\times},\ \text{etc.},$$

sur plat, c'est-à-dire × à chaque extrémité du lingot ou de la barre, dit : × en haut, × en bas.

Cette désignation a pour but de pouvoir, sans difficulté, faire passer une barre, insuffisante pour première classe, dans la seconde.

*Troisième classe.* — Aciers à outils, deuxième qualité, convenant pour les mêmes usages que ci-dessus, ainsi que pour scies, mais dans de moins bonnes conditions et comportant l'emploi du fer cémenté du Midi pur ou mélangé d'une petite proportion de fer de Suède ; nous en désignerons les degrés de dureté par :

0, 00, 000, 0000, etc., sur plat.

*Quatrième classe.* — Aciers ordinaires pour *faux, ressorts, limes, tôles à chaudière*, etc., com-

Digitized by Google

portant l'emploi du fer du Midi cémenté et mélangé de bouts écrus et barres trop cémentées ou ayant pris l'air; nous en désignerons les degrés de dureté par

1, 11, 111, 1111, etc., sur plat.

*Cinquième classe.* — Aciers communs pour broches de filature et objets n'exigeant pas la trempe et comportant l'emploi des fers du Midi mélangés avec de fortes proportions de riblons divers, de bouts écrus et d'aciers trop cémentés ou ayant pris l'air; nous en désignerons les divers degrés de dureté par

$$\frac{1}{1}, \frac{11}{11}, \frac{111}{111}, \frac{1111}{1111}, \text{ etc.},$$

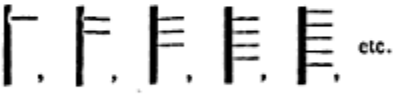
c'est-à-dire un coup de tranche ou un point long en haut, un point long en bas.

En ce qui concerne le degré de dureté que doit affecter le produit, l'expérience seule peut guider dans la détermination du nombre de points qu'il faut prendre, en acier cémenté, pour obtenir celui que l'on désire après fusion et étirage. En général, l'acier perd plus à la fusion à la houille qu'à la fusion au coke; nous verrons plus tard pourquoi.

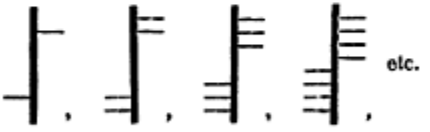
En ce qui concerne les quantités de matières disponibles, la question devient plus importante, en ce sens qu'il faut, autant que possible, tout écouler, et non-seulement faire des mélanges d'aciers doux et d'aciers durs quand on manque du degré de dureté voulu, mais encore régler la durée de la cémentation, sur le *stock* du magasin, des matières premières de la fonderie, ainsi que sur la quantité et la nature du produit qu'il faut fabriquer.

Quand on emploie le fer, ou plutôt l'acier puddlé et le charbon de bois, on n'a pas tous ces inconvénients; mais on en a d'autres. Si, par exemple, il importe de se rendre compte de la dureté journalière obtenue dans la fabrication en grand, c'est surtout dans ce cas. Pour éviter les mélanges entre lingots provenant d'acier cémenté ou de fer fondu avec charbon de bois, en vue d'un même échantillon, il convient d'affecter exclusivement à ces derniers le coup de tranche sur l'angle, soit en haut seulement, soit en bas; cela est d'autant mieux, que ce n'est jamais que pour aciers des deux dernières classes qu'on emploie ce moyen de fabriquer l'acier fondu.

Les aciers de la quatrième classe, en fer fondu avec charbon, se marquent alors :




Ceux de la cinquième classe, en fer fondu avec charbon, se marquent




§ 4. De la confection des charges.

Le poids des charges des creusets varie suivant la contenance de ces derniers, qui est, à très-peu près, double, en acier fondu, de ce qu'elle est en morceaux d'acier cémenté ou de fer mélangé de charbon de bois. Nous avons vu plus haut, en parlant des creusets (page 343), quelles sont les considérations d'après lesquelles se règle le poids des charges. Nous avons dit qu'elles

Digitized by Google

sont, en moyenne, de 20 kilogr. et diminuent d'autant plus fortement, après chaque coulée, que l'argile employée à la confection du creuset est plus homogène.

En général, quand les creusets font trois coulées, les creusets doivent recevoir 22 kilog. à la première, 20 à la seconde et 18 à la troisième et dernière; c'est le cas de la fusion au coke. Quand, au contraire, on fond à la houille, les creusets font cinq coulées en moyenne et doivent recevoir

22 kilog. à la première coulée,
20 kilog. aux deux suivantes,
18 kilog. aux deux ou trois dernières.

Toutes les charges doivent être pesées exactement et par matière entrant dans leur composition et déposées chacune dans une petite caisse en forme de *van*, à trois côtés, qui permet de les écouler facilement dans les *entonnoirs* que l'on emploie pour charger les creusets. Chaque charge est accompagnée d'une proportion de manganèse en poudre qui varie entre 100 et 200 grammes, suivant le décapage que nécessite le métal en fusion. Ce qui fait préférer le manganèse à tout autre fondant, c'est qu'il attaque moins les creusets que les verres et enlève, sans doute, au fer certaines matières étrangères mieux que tout autre fondant, puisque tous les minerais de fer manganésifères sont bons pour acier, et cependant ne laissent pas trace de ce métal dans les fers qu'on en extrait.

Il convient cependant de se méfier des manganèses du commerce, parce que quelques-uns d'entre eux contiennent des pyrites de cuivre ou de l'arsenic, etc., qui se dégagent en partie en flammes colorées quand on ouvre les creusets au moment de la coulée et se dissolvent en partie dans le métal, qui, quoique bien fondu, crique à l'étirage.

La confection des charges n'est pas une opération difficile, mais elle exige des ouvriers soigneux. Un homme peut faire, sans trop se presser, 400 charges dans sa journée.

### § 5. De la recuite des creusets.

Les creusets employés à la fusion de l'acier sont livrés aux fondeurs tantôt *cuits*, tantôt *crus*, suivant les conditions dans lesquelles ils ont été fabriqués. Quand les fabricants d'acier ne font pas eux-mêmes leurs creusets et les achètent au dehors, les transports et les manipulations que ces derniers ont à subir nécessitent impérieusement une cuisson préalable. Quand, au contraire, les fabricants font eux-mêmes leurs creusets, ce qui est, à notre avis, indispensable, il n'est pas nécessaire de les livrer cuits à la fonderie, mais seulement bien secs, parce qu'avant de s'en servir, qu'ils soient préalablement cuits ou crus, les fondeurs ont à leur faire subir une cuisson appelée *recuite*, dont le but est de leur communiquer lentement une température suffisante pour que, plongés dans les fours à fondre, ils ne cassent pas, par suite de la dilatation subite que communiquent à leur surface la haute température du four et la faible conductibilité du calorique que possède l'argile.

Il existe deux modes de cuisson ou recuite des creusets, suivant le combustible employé à la fusion du métal.

Quand la fusion a lieu au moyen du *coke*, les creusets sont recuits à l'aide de *grésillons* ou résidus de la combustion dans les fours.

Quand la fusion a lieu au moyen de la *houille*, les creusets sont recuits avec le même combustible.

Dans le premier cas, on les place debout, la tête en bas, par groupes de seize à vingt, dans une

Digitized by Google

espèce de foyer à trois côtés pleins, une porte par devant et une grille en dessous, et espacés entre eux de 0m.02 environ. On ferme ensuite la porte et on remplit tous les vides avec des grésillons, puis on met le feu à la partie inférieure.

Les grésillons en feu communiquent lentement leur calorique aux couches supérieures, et le feu monte tout doucement, de telle sorte qu'en quatre, six ou huit heures, selon les besoins, le feu arrive en haut. En général, plus la durée de la cuisson est longue, meilleur est le creuset; il convient néanmoins d'éviter que, au fur et à mesure qu'il monte, le feu s'éteigne dans les parties inférieures, parce qu'alors les bouches pourraient être trop froides au moment où on les met dans le four.

On comprend maintenant pourquoi les creusets se placent debout, la tête en bas, dans les recuites. En effet, comme c'est le fond qui, quand on les met dans les fours, se trouve le premier en contact avec le combustible, il convient qu'il soit à la plus haute température, ce qui s'obtient en le recuisant le dernier.

Dans le second cas, l'appareil qui convient le mieux pour recuire les creusets est une espèce de caisse à cémenter munie d'une porte latérale pour l'introduction et la sortie des creusets et dans laquelle on fait descendre la flamme arrivée au sommet des carnaux extérieurs verticaux avant de l'envoyer à la cheminée.

Ces caisses, chauffées à la flamme de la houille, contiennent de vingt à trente creusets, soit couchés, soit debout les uns sur les autres, et opèrent une recuite en huit heures.

Trois heures avant de mettre les creusets dans les fours à fondre, on allume ces derniers de manière que, au moment où on y introduit les creusets, leur température soit celle du rouge-blanc.

Pour placer les creusets dans les fours à fondre au coke, on commence par y jeter deux fromages en terre réfractaire, ayant pour diamètre un peu moins que le diamètre du cul du creuset et pour hauteur de 0m.03 à 0m.04. Ces fromages, qui, comme les couverts, ont été recuits avec les creusets, sont disposés sur le combustible de manière que les creusets posés dessus puissent être entourés de toutes parts de coke embrasé.

Dans les fours à fondre à la houille, les fromages sont inutiles; les creusets sont posés directement sur la sole en sable ou quartz pilé et légèrement enfoncés dans ladite sole, afin qu'ils ne se déversent pas pendant le chauffage.

### § 6. Du chargement de l'acier.

Quand les creusets sont placés dans les fours, on les recouvre chacun d'un couvert en terre réfractaire un peu plus fusible que celle servant à la confection des creusets, afin que ces couverts, se ramollissant sous l'influence du calorique, ferment bien hermétiquement les creusets; puis on donne une chaude suante, afin que les creusets se ramollissent et ne se cassent pas sous l'influence du refroidissement que leur fera éprouver le chargement de l'acier. On comprend, en effet, que, si au moment où on charge l'acier, qui est froid, le creuset se trouve seulement rouge ou rouge-blanc, le refroidissement qu'il éprouve au moment du chargement le fait retraiter, et alors, s'il est trop froid, il se casse par cristallisation du silicate, et, s'il est assez chaud pour ne pas cristalliser, il se fend de haut en bas sous la double influence de sa propre retraite et de la dilatation intérieure du métal. Quand, au contraire, le creuset est suffisamment *ramolli* par la température, le chargement de l'acier le refroidit un peu, mais est incapable de le faire casser, parce qu'alors il cède à la pression intérieure et se dilate. Il est tellement facile d'éviter la casse des creusets, lors du chargement de l'acier, que l'on est dans l'habitude de mettre



Digitized by Google

les ouvriers fondeurs à l'amende quand le fait a lieu, attendu qu'il est toujours la conséquence de leur négligence.

Pour charger les creusets, on commence par ouvrir le four et enlever tous les couverts des creusets; ensuite un ouvrier, l'*arracheur*, dont nous parlerons plus loin, prend un entonnoir en fer (pl. 49, fig. 30) et le pose sur un creuset; le *monteur de moules*, dans la fonderie au *coke*, ou le *chauffeur du four*, dans la fonderie à la *houille*, prend une caisse contenant la charge d'un creuset et la verse petit à petit dans l'entonnoir. Pendant ce temps, le *fondeur*, armé d'une baguette, pilonne les morceaux d'acier dans le creuset au fur et à mesure qu'ils y tombent, afin de leur faire occuper le moins de place possible, et les aide à passer dans l'entonnoir quand, par suite de leur trop grande dimension ou d'un versement trop rapide, ils s'y arrêtent. Deux ou trois coups de la caisse sur l'entonnoir quand l'acier est chargé suffisent pour faire descendre le reste du manganèse en poudre qui fait partie de la charge. Quand tous les creusets sont chargés, on remet les couverts, on ferme avec soin la bouche du four et on chauffe en plein.

En général, les ouvriers de la fonderie sont divisés en *postes* ayant chacun pour chef l'ouvrier fondeur. Chaque fondeur, qu'il opère au coke ou à la houille, comporte de seize à vingt creusets; quand on a voulu leur en donner plus, il y a eu perte. Ainsi, dans la fonderie au coke, un fondeur a huit à dix fours à deux creusets ou quatre ou cinq fours à quatre creusets. Dans la fonderie à la houille, un fondeur a deux fours à neuf ou dix creusets.

Sur six postes de huit fours au *coke* à deux creusets, il y a toujours un poste en réparation qui ne travaille pas. Comme chaque poste remis à neuf peut marcher deux semaines, soit douze jours, il en résulte que, pour qu'aucun poste ne chôme, il faut que la réparation du poste qui ne marche pas dure au plus douze cinquièmes de jour, soit deux jours et demi environ; mais, comme on ne marche, autant que possible, que douze heures par jour, il y a un changement de poste tantôt tous les deux, tantôt tous les trois jours.

A la *houille*, chaque poste de deux fours marchant comporte au moins cinq fours; cela tient à ce que :

1° On marche sans arrêter pendant six jours de vingt-quatre heures par semaine;

2° Le refroidissement des fours à réverbère est plus lent que celui des fours à fondre au coke.

Nous reviendrons plus loin sur ces questions.

### § 7. Du chauffage.

Dans la fonderie au coke, chaque four de deux creusets fait ses trois coulées d'acier doux en douze heures, et prend, savoir :

Pour la première, cinq heures;
Pour la seconde, quatre heures;
Pour la troisième, trois heures.

La première coulée exige trois charges de coke, la seconde deux charges et la troisième une seule charge. Quand le nombre des charges de coke dépasse ces chiffres, c'est que le coke est mauvais, c'est-à-dire pierreux ou mal carbonisé, ou que la cheminée ne tire pas, par suite d'engorgement du passage ou d'arrivée d'air froid trop abondant en dessous. Le total d'acier fondu par four étant, pour les trois coulées à 18 kilog. par creuset, de 100 kilog. net, bien qu'on ait chargé de 106 à 108, et la consommation en coke étant de 450 kilog. par 100 kilog. d'acier fondu, ces 450 kilog. représentent, d'après ce que nous venons de dire, six charges de coke, ce qui donne, pour poids de la charge, 75 kilog., ou près de 2 hectolitres.

Digitized by Google

Le coke est amené à la bouche des fours, par le *monteur de coke*, dans des paniers dits *balles*, contenant chacun 1 hectolitre; la charge est donc d'environ deux balles.

On comprend qu'il importe de bien régler le chargement des fours si on veut économiser le combustible, parce que, chaque fois qu'on ouvre un four pour y ajouter du combustible, on le refroidit non-seulement par l'arrêt immédiat du tirage, mais encore et surtout par le contact du combustible froid. Aussi est-il très-important de n'employer que du coke très-sec, et, pour cela, de couvrir le chantier d'approvisionnement en cette matière.

Dans les fours au coke à quatre creusets, la durée des trois charges est de quinze à seize heures, ce qui fatigue beaucoup les ouvriers, qui n'ont que huit heures sur les vingt-quatre pour se reposer.

Quand il y a presse de commande, on est quelquefois obligé de travailler, à la fonderie au coke, sans arrêter, c'est-à-dire *à fours chauds*. Les postes se relèvent alors toutes les douze heures. Ce mode de travail, qui, au premier abord, paraît avantageux, parce qu'on ne laisse pas refroidir les fours, est, au contraire, très-désavantageux. Quand on ne fait que douze heures par jour, les fours sont froids, il est vrai, quand on commence, mais les crasses dont ils sont encombrés sont vitrifiées et s'enlèvent avec la plus grande facilité. Quand, au contraire, on travaille à fours chauds, les crasses sont visqueuses et tellement adhérentes, que, la plupart du temps, les ouvriers renoncent à décrasser entièrement leurs fours et consomment plus de combustible pour fondre. Aussi, à fours chauds, au lieu de faire trente-six coulées par semaine, n'en fait-on que trente ou trente-trois, en dépensant autant de combustible que pour trente-six.

Dans les fours à la houille, le chauffage ne présente aucune particularité, comparé à celui des fours à souder le fer.

Certainement il convient de ne pas charger trop souvent la grille et d'y répartir très-uniformément le charbon, afin que le vent forcé ne pénètre pas dans le four sans avoir traversé une couche de combustible, mais il ne faut pas non plus charger trop épais, parce qu'alors on intercepte le passage au vent forcé et on ne chauffe pas. Il faut là de très-intelligents chauffeurs, parce que, suivant la manière dont ils conduisent le feu, la chaude dure de trois à cinq heures. En moyenne, les fours à réverbère doivent faire cinq coulées par vingt-quatre heures, c'est-à-dire une recuite, puisque les creusets font cinq coulées. Toutes les vingt-quatre heures, on doit, par conséquent, changer de fours et de creusets. Chaque poste, composé de deux brigades se renouvelant toutes les douze heures, fait donc, par four, trente coulées par semaine.

### § 8. De la coulée.

Quand le fondeur pense que, d'après l'énergie du chauffage et le degré de dureté de l'acier, ce dernier doit être fondu, il entr'ouvre successivement la bouche de chaque four et, avec un ringard, déplace le couvert du ou des creusets qu'il suppose avoir le moins chauffé; puis, prenant une baguette en acier de très-petit échantillon, il la plonge jusqu'au fond du creuset, en tâtonnant pour sentir des morceaux non fondus. S'il ne trouve pas de morceaux, il retire sa baguette, la plonge dans l'eau pour la refroidir, enlève la crasse adhérente, et la replonge dans le creuset, en ayant soin de la retirer de suite; si, quand elle sort, il voit s'en dégager des étincelles, c'est signe que l'acier n'est pas suffisamment fondu, parce qu'il y a encore des fragments solides très-petits qui se sont attachés à la baguette. Dans ce cas, il remet les couverts et attend quelque temps; si, au contraire, la baguette sort du creuset sans étinceler, il se prépare à couler. A cet effet, lui et l'arracheur mettent chacun un vêtement en grosse toile, tout imbibé d'eau, et laissent continuer le feu pendant le temps qu'exige ce changement de costume.

Digitized by Google

La coulée, qui se fait toujours en lingotières, a pour but de convertir l'acier liquide en *lingots* de différents poids et de différentes sections.

En ce qui concerne le poids des lingots, il varie depuis celui de l'acier contenu dans un creuset jusqu'à celui de l'acier contenu dans la totalité des creusets d'une même usine dont l'acier est fondu au même moment.

En ce qui concerne la forme des lingots, elle varie entre le *prisme* et le *cylindre*, c'est-à-dire que les lingots ont même section sur toute leur longueur, et que cette section varie entre le *carré*, le *rectangle* et le *cercle;* seulement, quand elle est carrée ou rectangulaire, les angles sont toujours abattus et remplacés soit par des pans coupés, soit par des quarts de rond, à cause de la difficulté avec laquelle le métal, prompt à se figer, remplit les angles inférieurs à 120 degrés. On appelle :

*Lingots simples* les lingots contenant l'acier d'un creuset;

*Lingots doubles*, les lingots contenant l'acier de deux creusets;

*Lingots triples*, les lingots contenant l'acier de trois creusets, etc., etc.

Les coulées d'un lingot simple ou d'un lingot double sont faites par un seul fondeur. Dans le premier cas, il coule directement l'acier dans la lingotière au fur et à mesure que l'arracheur lui apporte les creusets; dans le second cas, il fait arracher deux creusets et en coule un dans l'autre avant de couler le tout dans la lingotière. Il n'y a que les hommes robustes qui puissent faire cette dernière besogne.

Les lingots triples ou quadruples se coulent à deux fondeurs; les lingots quintuples ou sextuples peuvent encore se couler à deux fondeurs, en ayant soin de couler l'un après l'autre et suffisamment lentement, au second creuset double, pour que le premier ait le temps de remettre son creuset vide et apporter le troisième plein.

Quand le nombre des creusets que comporte le lingot dépasse six, jusqu'à vingt, les fondeurs s'entr'aident et se mettent à trois, quatre ou cinq pour couler. Au delà de vingt creusets, on peut continuer à couler successivement, mais il est préférable d'avoir recours à la *poche*.

La *poche* est une capacité que l'on emploie dans les fonderies de fonte pour couler même les plus petites pièces. Pour l'acier, la poche peut, comme celle des fonderies de fonte, être disposée pour couler par en haut; mais, comme elle n'est pas destinée à remplir plusieurs moules et que l'acier ne comporte pas de lenteurs, il vaut mieux la disposer pour couler en dessous, à l'aide d'une soupape qu'on lève quand elle est pleine. Il existe aujourd'hui, dans les grandes aciéries, des poches depuis 400 jusqu'à 8,000 kilog. Toute la difficulté, dans ce cas, consiste à avoir fondus au même moment le nombre de creusets qu'exige le poids du lingot à couler.

Quand il s'agit de couler des petits lingots, au contraire, il y a à prendre une série de précautions que nous allons signaler.

Pendant que les creusets chauffent, le fondeur et ses aides montent les moules ou lingotières; à cet effet, ils commencent soit par les flamber à la flamme du *goudron*, soit par les *huiler;* la première méthode est la meilleure, parce qu'elle donne toujours des lingots lisses et exigeant, par conséquent, peu de *burinage*.

Quand les moules sont flambés, il en assemble les deux parties par des frettes et les pose sur des culs en fonte, les uns à côté des autres et en nombre proportionnel à la quantité d'acier à couler en totalité et dans chacun d'eux.

On ne coule jamais une partie des creusets contenus dans un four. Si les creusets ne sont pas tous fondus, on attend, si c'est nécessaire, ou on coule tout. Au coke, cette observation est peu importante; mais à la houille, qui comporte, par four, de neuf à dix creusets, elle n'est pas sans influence sur le rendement, quand le chauffage marche mal.

Quand le moment de couler est arrivé, l'arracheur, muni de sa tenaille (pl. 49, fig. 31, 32), re-

Digitized by Google

tire un creuset du four et le remet au fondeur, qui le prend avec sa tenaille (fig. 33, 3½); si ce dernier veut couler un lingot double, il fait tenir le premier creuset par un aide et verse le second dans le premier; puis, avec des baguettes, on enlève le verre liquide de manganèse qui recouvre le bain. Au moment de couler, le fondeur penche son creuset sur la lingotière, de manière que le jet tombe directement au fond sans toucher les côtés, attendu que tout lingot touché est rebuté, parce qu'il porte une paille d'acier figé dont l'enlèvement au burin coûte quelquefois plus que les frais de fusion. Pendant ce temps, un aide muni d'une baguette écarte le manganèse liquide qui surnage en petite quantité il est vrai, mais qui, en tombant avec l'acier dans les lingotières, se réfugie à la surface du lingot, la dépare et augmente les frais de burinage.

Quand le lingot est coulé, un aide s'empresse de poser dessus un bouchon en fer dont la base occupe toute la section de la lingotière, et, par-dessus ce bouchon, du sable ou du quartz pilé. Cette précaution a pour but d'abriter l'acier figé contre le contact de l'air; si on ne la prenait pas, ce dernier se boursouflerait et sortirait du moule à l'état de fer spongieux ou brûlé.

Ce fait, qui paraît tout naturel dans les aciéries, est cependant d'une grande importance au point de vue théorique, puisqu'il prouve, avec le rochage de l'argent (page 28), par l'absorption d'oxygène, qui a lieu, et la formation de fer brûlé, que les métaux très-chauds et surtout liquides aspirent les milieux dans lesquels ils sont plongés. Ainsi l'agglomération du calorique dans le corps, loin de le saturer, augmente sa faculté dissolvante des autres corps, ce qui semble indiquer que la force répulsive du calorique en dissolution dans le corps est supérieure à celle qui correspond au volume qu'il occupe.

Il va sans dire que le boursouflement de l'acier pâteux mis en contact avec l'air provient de la formation d'oxyde de carbone lors de la rencontre de l'oxygène avec ce métalloïde dans le métal.

Un fait qui prouve que l'aspiration des gaz vient du fer et non du carbone est le suivant : plus les aciers sont doux, plus ils étincellent au moment de la coulée; plus ils sont durs, au contraire, moins ils étincellent. Un acier à limes coule tranquillement; un acier à ressorts, au contraire, fait un feu d'artifice à la bouche de la lingotière.

### § 9. Du burinage.

Le burinage des lingots est une opération qui a pour but d'enlever toutes les bavures résultant de l'assemblage imparfait des deux moitiés de la lingotière, de la jonction imparfaite entre le bas de la lingotière et le cul sur lequel elle repose, du jeu qu'il y a entre le bouchon et la section intérieure de la lingotière; puis les gouttes froides résultant du premier jet de l'acier dans le moule, les pailles résultant du touchage, les trous résultant de la crasse qui a coulé avec l'acier, etc.

Le burinage est une opération indispensable non-seulement pour les lingots sortant de la fonderie, mais pour tous les aciers ébauchés. Si on ne pratique pas le burinage pour le fer, c'est parce que tous les étirages de ce métal se font à chaudes suantes. Pour l'acier, il n'en est pas de même; tous les étirages se font à basse température et exigent un métal sans défauts.

### § 10. Résumé comparatif des fusions au coke et à la houille.

En supposant l'acier cémenté à 40 fr. les 100 kilog., le coke à 2 fr. 50 et la houille à 1 fr. 50, on peut établir ainsi qu'il suit les frais comparatifs de fusion au coke et à la houille, savoir :

Digitized by Google

1° *Frais de fusion au coke à deux creusets.*

| | | |
|---|---|---|
| 108 kilog. acier à 40 fr. | 43 fr. | 20 c. |
| 450 kilog. coke à 2 fr. 50. | 11 | 25 |
| 2 creusets à 1 fr. 75. | 3 | 50 |
| Main-d'œuvre de la fonderie, aux pièces. | 2 | 50 |
| Réparation des fours. | 1 | 00 |
| — des outils. | 0 | 40 |
| | 61 | 85 |
| A déduire : 5 kilog. riblons à 20 fr. | 1 | 00 |
| Total, non compris les frais généraux. | 60 fr. | 85 c. |
| Si nous en déduisons la valeur de 100 kilog. acier cémenté. | 40 | 00 |
| nous trouvons pour frais de fusion au coke et à deux creusets. | 20 fr. | 85 c. |

2° *Frais de fusion au coke à quatre creusets.*

| | | |
|---|---|---|
| 110 kilog. acier à 40 fr. | 44 fr. | 00 c. |
| 250 kilog. coke à 2 fr. 50. | 6 | 25 |
| 2.20 creusets à 1 fr. 75. | 3 | 85 |
| Main-d'œuvre. | 2 | 50 |
| Réparation des fours. | 1 | 00 |
| — des outils. | 0 | 40 |
| | 58 fr. | 00 c. |
| A déduire : 6 kilog. riblons à 20 fr. | 1 | 00 |
| | 57 fr. | 00 c. |
| 100 kilog. d'acier cémenté. | 40 | 00 |
| Frais de fusion au coke à quatre creusets. | 17 fr. | 00 c. |

3° *Frais de fusion à la houille à neuf creusets.*

| | | |
|---|---|---|
| 106 kilog. acier à 40 fr. | 42 fr. | 40 c. |
| 333 kilog. houille à 1 fr. 50. | 5 | 00 |
| 1.23 creuset à 2 fr. 25. | 2 | 77 |
| Main-d'œuvre. | 2 | 50 |
| Réparation des fours. | 3 | 00 |
| — des outils. | 0 | 40 |
| Ventilateur et recuite. | 0 | 10 |
| | 56 fr. | 17 c. |
| A déduire : 3 kilog. riblons à 20 fr. | 0 | 60 |
| | 55 fr. | 57 c. |
| 100 kilog. d'acier cémenté. | 40 | 00 |
| Frais de fusion à la houille. | 15 fr. | 57 c. |

Digitized by Google

On voit, par ces données, qu'il y a peu de différence entre les frais de fusion au coke à quatre creusets et les frais de fusion à la houille à neuf creusets.

Ce qui fait principalement l'avantage de la fusion à la houille, c'est que :

1° Elle ne fatigue pas les ouvriers comme la fusion à quatre creusets, à quantité égale d'acier fondu;

2° Elle utilise les flammes perdues à chauffer les chaudières à vapeur, ce qui est d'autant moins à dédaigner dans les aciéries, que les autres fours ne chauffent pas assez pour donner des quantités notables de vapeur et qu'on est obligé de chauffer les chaudières à la main, ce qui représente, par jour et par cheval, une dépense de 2 fr. au moins.

### De la préparation des *tubes* et *rondelles* creuses par l'application de la force centrifuge à la coulée de l'acier fondu.

La substitution de l'*acier fondu* au *fer* et même au *cuivre* a fait rechercher les moyens de couler ce métal creux pour la fabrication des *bandages de roues* et des *tubes*.

Quand on place au centre d'une lingotière un noyau métallique, la rondelle d'acier coulée dans cette lingotière casse toujours lors de la retraite qui a lieu au moment de sa solidification. Quand on emploie, comme pour la fonte, un noyau en terre rendu élastique par les substances organiques logées dans son intérieur, il est rare que le noyau ne se désagrége pas sous l'influence de la température énorme à laquelle il est soumis et ne fasse pas manquer la pièce coulée.

L'application de la *force centrifuge* au coulage du *cuivre fondu* ayant eu l'air de réussir dans des essais en petit, MM. *H. Petin, Gaudet* et comp. crurent devoir en essayer l'application au coulage de l'acier fondu, tant pour *rondelles* que pour *tubes*, et même pour *canons*. La réussite de ce procédé eût été certainement quelque chose de très-beau, mais les résultats n'ont pas répondu aux espérances qu'on avait conçues, et ce qui s'oppose à la réussite est tel, qu'il ne peut plus jamais être question d'appliquer ce procédé à la coulée des métaux, même les plus fibreux.

En effet, ce qui se passe avec les noyaux métalliques solides se passe également dans les moules animés d'une vitesse de rotation suffisante pour que le métal reste adhérent à la paroi contre laquelle il a été coulé. Au moment de la retraite, qui résulte de la solidification du métal, les couches intérieures pressent si fortement contre les couches extérieures coulées les premières, que ces dernières ne peuvent retraiter sans casser en un point de leur circonférence. Il faudrait, pour que le fait n'eût pas lieu, que leur résistance à la rupture fût plus grande que la pression qu'elles subissent. Or un métal, quel qu'il soit, qui passe de l'état liquide à l'état solide n'a aucune espèce de ténacité, c'est à peine si la couche la plus mince résiste à sa propre force centrifuge. On trouverait le moyen de faire retraiter le moule en même temps que le métal, que cela n'aboutirait à rien : la première couche ne casserait pas, mais la seconde se trouverait, par rapport à la troisième, dans la position de la première par rapport à la seconde.

Il est cependant un procédé de fusion dans des moules à noyau métallique qui a réussi, ou du moins que nous supposons avoir réussi, puisqu'il donne des produits; c'est celui de M. *Verdié*, de *Firminy*. Ce procédé consiste à prendre, pour noyau, un bloc ou une rondelle de *fer* chauffé au blanc soudant. L'acier coulé contre ce noyau soude avec lui, surtout si on a soin de décaper la surface du fer avec du borax, et, comme le fer est très-mou, par suite de la haute température qu'il affecte, il paraît qu'il permet la retraite de l'acier fondu comme les noyaux en terre. L'inventeur a fait l'application de ce procédé aux bandages de chemins de fer; il en a même un assez grand nombre qui fonctionnent. Nous nous garderons bien de parler des résultats qu'ils ont donnés, parce que, bons ou mauvais, les essais ne datent pas d'assez longtemps pour qu'il con-

Digitized by Google

vienne de les déprécier ou en faire l'éloge; nous n'exprimerons donc que notre opinion personnelle, qui est la suivante :

1° Quand il s'agit de bandages de chemins de fer, le fer intérieur étant plus mou que l'acier extérieur, il nous semble que l'accroissement de diamètre résultant de l'espèce de laminage auquel sont soumis les bandages pendant leur roulement sur les rails doit se faire principalement sentir sur le fer, et que, à un moment donné, l'acier, s'il n'est pas extrêmement doux et de qualité supérieure, doit rompre en un point de sa circonférence.

2° Les vieux bandages en fer et acier ne valent pas plus que des vieux bandages en fer, encore faut-il que les qualités du métal soient les mêmes dans les deux parties. Or le soudage de l'acier liquide au fer solide, pendant la coulée, qui est une condition indispensable dans ce cas, est d'autant plus facile à obtenir que la rondelle intérieure est en fer plus tendre. Cette tendresse du fer ne peut s'obtenir qu'en employant, à qualités égales, pour le noyau solide, du fer très-aciéreux, ou, à qualités différentes, des fers à grain de fonte au coke. Dans le premier cas, il n'y a pas d'économie, il y a même un surcroît de dépense; dans le second, le vieux bandage vaut tout au plus le même prix que les vieux rails. Voilà, pour nous, l'écueil, en supposant même que l'on réussisse pour la coulée.

## TITRE II.

### DU CORROYAGE DE L'ACIER.

Si le corroyage du fer a encore aujourd'hui sa raison d'être, parce qu'il est des qualités inférieures de fer, très-convenables pour certains usages, qui ne comportent à aucun prix les frais de fusion, il semble, à première vue, qu'il ne doit pas en être de même pour l'acier, et que le corroyage, bon lorsqu'on ne disposait pas de procédés pratiques pour la fusion, devrait être abandonné depuis longtemps. Eh bien! il n'en est pas tout à fait ainsi, parce qu'il est une foule d'usages de l'acier pour lesquels on aime bien le rencontrer dur après la trempe, mais pour lesquels on préfère encore le rencontrer tenace; en d'autres termes, on veut bien qu'il prenne la trempe, mais on ne veut surtout pas qu'il casse : alors, pour remplir ce double but, on recherche l'acier corroyé, c'est-à-dire un fer très-fort, susceptible de prendre quelque peu la trempe.

Un des motifs qui font encore rechercher les aciers corroyés par le commerce, c'est que leur fabrication ne comporte pas de qualités inférieures. Nous avons dit que, quel qu'il soit, l'acier provient toujours de fer supérieur; or ce qui est vrai pour l'acier fondu l'est encore plus pour l'acier corroyé, et le fer qui, dans le premier cas, convient pour qualité ordinaire est tout à fait impropre à figurer dans le second.

On distingue trois qualités à peu près d'aciers corroyés, savoir :

1° Les aciers fabriqués avec les premières marques de *Suède;*

2° Les aciers fabriqués avec les secondes marques de *Suède* pures ou mélangées avec les meilleurs fers de France, tels que les fers du *Midi* et de l'*Isère;*

3° Les aciers fabriqués avec les meilleurs fers de France sus-nommés.

On distingue, en outre, les aciers corroyés en

Aciers corroyés une fois,
Aciers corroyés deux fois.

Digitized by Google

Les premiers sont le résultat de l'étirage d'un paquet soudé;

Les seconds sont le résultat de l'étirage d'un paquet soudé, coupé en deux, doublé et soudé de nouveau.

Il va sans dire que plus l'acier est corroyé, plus il est tenace, mais aussi plus il est doux; il faut même du fer bien pur pour qu'il ne perde pas tout son carbone après deux chaudes suantes.

La *cémentation* pour corroyage se fait toujours à basse température, parce que le degré de dureté qui, pour fusion, représente trois points, c'est-à-dire demi-dur, pour corroyage représente un point ou très-dur. Or, comme il faut, en outre, que la saturation en carbone soit régulière, on comprend qu'il n'y ait rien d'étonnant à ce que la durée des cémentations pour corroyage soit double de celle pour fusion.

Les opérations du corroyage sont au nombre de cinq principales, savoir :

1° Le choisissage des aciers cémentés;
2° La confection des languettes;
3° La confection des trousses;
4° Le soudage des trousses;
5° L'étirage des barres brutes.

1° *Choisissage.* Le choisissage des aciers cémentés pour corroyage se fait de la même manière que pour la fonderie. Les barres sont cassées en morceaux de 0m.30 à 0m.35 de long; les bouts écrus sont mis de côté pour la fonderie, ainsi que les morceaux par trop surchargés d'ampoules ou de pailles. Les morceaux doivent présenter dans leur cassure une texture uniforme et cependant pas trop cémentée; les morceaux à texture variée sont rebutés et relégués dans les aciers de même qualité pour fusion. La difficulté que présente le chauffage pour corroyage fait que souvent une fournée, bien qu'ayant subi un chauffage de trente jours, ne donne pas plus de moitié de son poids en acier bon pour corroyer.

Quand on emploie des aciers de *Rives* en *masseaux*, il convient de les soumettre à la cémentation comme les fers avant de les affecter au corroyage. A cet effet, on les étire au laminoir en barres plates, à chaleur suante, et on les cémente comme s'ils ne contenaient pas déjà du carbone. Ces aciers ne s'emploient généralement pas purs; on est dans l'usage de les mélanger tantôt avec les fers de Suède, tantôt avec les fers de l'Ariége, tantôt avec tous les deux.

2° *Confection des languettes.* Les languettes ne sont autre chose que les morceaux choisis étirés en plats, de 0m.04 à 0m.05 sur 0m.012 à 0m.015. On les fait soit au laminoir, soit au marteau à corroyer (pl. 22, fig. 4, 5). Quand elles sont étirées, on les plonge dans l'eau fraîche pour les décaper, mais on ne les y laisse pas se refroidir; à peine plongées, on les retire et les met en tas, ce qui fait qu'elles ne trempent pas et sont susceptibles de se plier quand on les assemble entre elles.

Pour les passer au laminoir, on les chauffe au four à réverbère; pour les étirer au marteau, au contraire, on les chauffe dans un petit feu soufflé et alimenté à la houille, servant également au corroyage. La température que comporte leur étirage est le rouge-blanc.

3° *Confection des trousses.* Les trousses sont des paquets de douze à quinze languettes superposées et maintenues assemblées par un manche en fer qui sert à les manœuvrer et les tient serrées, par une de leurs extrémités, au moyen de coins en fer.

Quand on fait une trousse, si toutes les languettes sont de même qualité, on fait la couverture en acier un peu plus carburé que l'intérieur, afin qu'il affecte, après chauffage, la même texture que l'intérieur, qui est moins exposé à l'action de l'air; aussi n'est-il pas rare de voir les trousses criquer lors du serrage, parce que la couverture est moins réfractaire que l'intérieur; mais,



Digitized by Google

comme le fer est de très-bonne qualité, ces criques disparaissent à la seconde chaude. Quand les languettes sont de qualités différentes, on met les aciers les plus réfractaires en couverture; ce sont presque toujours, dans ce cas, les fers de Suède qui servent de couverture.

4° *Soudage des trousses.* Les trousses se chauffent à deux feux soufflés, dont l'un est alimenté par de la houille et l'autre par du coke. Le feu à la houille sert à chauffer au blanc les trousses froides pendant que les trousses chaudes sont chauffées suant dans le feu au coke.

Il faut pour le soudage de l'acier un coke très-pur et de première qualité, parce que, s'il contient des pierres et surtout de la magnésie, il dégage une poussière qui s'intercale entre les barres et les empêche de souder.

Pour favoriser le décapage des languettes dans le feu à souder, le chauffeur a soin de projeter de temps en temps sur la trousse un mélange de sable et de battitures qui, formant un silicate fondu ou verre, non-seulement dissout la battiture en fusion dont se recouvrent les languettes, mais encore préserve ces dernières de l'action de l'air.

Le chauffage suant doit être très-prompt; c'est pour cela qu'il convient d'avoir du bon coke, car, quand le soudage se ralentit, ce n'est plus de l'acier qu'on obtient, c'est du fer.

Le serrage se fait, autant que possible, au marteau-pilon, dont le poids varie suivant l'importance de la pièce à confectionner.

Quand la trousse est soudée, si on veut lui faire subir un second corroyage, on la coupe en deux parties égales que l'on replie l'une sur l'autre et réchauffe comme précédemment.

En général, une trousse soudée est une barre carrée ayant de 0m.05 à 0m.08 de côté. Quand on veut lui faire subir un second corroyage, on ne la plie pas perpendiculairement aux assises des languettes dont elle se compose, mais parallèlement, afin que le second corroyage ait pour effet d'amincir les lits et non de les déformer, comme cela aurait lieu dans l'autre cas. On comprend, en effet, que, quand on plie parallèlement au lit des languettes la trousse représentée dans la fig. 35 (pl. 49), cette trousse, doublée et étirée au même échantillon que précédemment, présente 12 lignes de soudure parallèles (fig. 36) là où il y en avait 6 précédemment; si, au contraire, on la plie perpendiculairement, elle présente (fig. 37) six soudures verticales et une horizontale au milieu. L'étirage est bien le même; mais, si les soudures ne sont pas parfaites, il n'y a, dans le second cas, aucun côté qui présente une surface irréprochable, ce qui est nécessaire quand les trousses sont destinées à être étirées en plats pour taillanderie.

5° *Étirage des barres brutes.* Les trousses sortant du soudage sont soumises sur place au burinage, qui les débarrasse, au moyen d'entailles se raccordant avec la surface, des criques, veines et pailles dont leur surface est souillée; ensuite elles sont chauffées suant, comme précédemment, et ébauchées, d'une seule chaude, en carrés ou méplats de 0m.03 à 0m.04 pour petits échantillons. Pour gros échantillons, il faut, au lieu de doubler les trousses, en assembler plusieurs ensemble, toujours par deux paquets à la fois, jusqu'à ce qu'on soit arrivé au poids voulu; alors, si l'échantillon l'exige, on double la dernière trousse, en procédant comme pour la trousse simple. On comprend que ces chaudes successives, pour gros échantillons, ont pour effet de décarburer l'acier; aussi le corroyage ne convient-il réellement que pour la fabrication des petits échantillons, soit au martinet, soit au laminoir.

Digitized by Google

# LIVRE III.

## DE LA FABRICATION DE L'ACIER FINI.

Comme le fer, l'acier fini se divise en *barres* et *tôles*. Bien que les appareils servant à l'étirage de l'acier diffèrent à peine de ceux que l'on emploie pour le fer, le mode de procéder présente néanmoins certaines particularités qu'il importe de signaler et que nous allons exposer.

## CHAPITRE PREMIER.

### DE LA FABRICATION DE L'ACIER EN BARRES.

L'acier en barres se fabrique tantôt au marteau, tantôt au laminoir.

Les matières premières de sa fabrication sont de quatre espèces différentes, savoir :

1° L'acier naturel,
2° L'acier cémenté,
3° L'acier corroyé,
4° L'acier fondu.

L'*acier naturel*, provenant de l'affinage de la fonte pour acier, soit au feu soufflé, soit au four à puddler, est tantôt en *masseaux*, tantôt en barres *ébauchées*.

L'*acier cémenté* et l'*acier corroyé* sont toujours en barres *ébauchées* plates ou carrées.

L'*acier fondu* est toujours en *lingots*.

Sauf l'acier corroyé, qui a reçu un ressuage lors de son étirage en barres ébauchées, tous ces aciers doivent subir une chaude suante et un serrage avant étirage si on veut qu'ils donnent des barres irréprochables, c'est-à-dire sans criques, veines, pailles, etc. En effet, les *aciers naturels*, qui sont du fer brut très-carburé, ne sont que très-imparfaitement soudés; les *aciers cémentés* sont plus ou moins surchargés d'ampoules et de pailles prêtes à souder, sous l'influence d'une chaude suante, par suite de la décomposition, qui a eu lieu pendant la cémentation, de l'oxyde mécaniquement intercalé; les *lingots* contiennent non-seulement des impuretés extérieures, mais encore des soufflures intérieures, parfaitement décapées du reste, qu'une chaude suante fait souder intégralement.

Il résulte de là que l'étirage en barres de l'acier comporte, comme celui du fer, deux opérations, savoir :

L'ébauchage et le finissage.

Ces deux opérations tantôt exigent deux chaudes, tantôt peuvent se faire d'une seule chaude.

Quand elles se font en deux chaudes, on laisse toujours refroidir les barres après la première chaude, de manière à pouvoir en buriner les défauts et n'avoir ainsi, pour les finir, qu'une chaude

Digitized by Google

rouge-cerise à leur donner. Autrefois ce mode d'opérer était exclusivement pratiqué dans les aciéries; mais, depuis qu'on s'est mis à faire les ressorts en acier fondu, pour chemins de fer, sur une échelle considérable, on a essayé de les étirer d'une chaude et on y est parvenu. Il a suffi, pour cela, de doubler de soins dans le burinage des lingots et d'ajouter une ou deux cannelures plates au laminoir ébaucheur.

### § 1er. De l'étirage au marteau.

L'étirage au marteau varie suivant les dimensions des pièces à étirer et se fait tantôt au marteau-pilon, tantôt au martinet.

Le marteau-pilon employé dans les aciéries est à panne longue et étroite (pl. 28, fig. 33, 34, 35, 36, 37); il sert à la fois au serrage des aciers ressués et à l'étirage.

Parmi les causes qui influent sur le dérangement de cet appareil quand il fonctionne constamment, il faut citer en première ligne l'assemblage de la tige du piston à vapeur avec la tête du marteau. Les fig. 38 et 39 (pl. 49) représentent deux dispositions d'assemblage que nous avons vues résister assez bien à la casse; la première est employée à *Montataire* pour marteaux en fonte; la seconde est employée dans le bassin de la Loire pour marteaux en fer.

La disposition de la fig. 38 consiste à terminer la tige du piston, du côté du marteau, par une partie cylindrique *a* à bases sphériques, puis à garnir le bas et le haut de la douille, dans laquelle se loge ce cylindre, avec des morceaux de cuir et de bois *b*, *b*, *b*. La fermeture et le serrage se font au moyen d'une plaque *c c* en fer, que traverse la tige, avec un jeu suffisant pour pouvoir osciller dans tous les sens et qui s'assemble avec le marteau à queue-d'aronde et à clavettes serrées à coups de masse. Le but principal de cet assemblage est de permettre à la tige de rester droite quand, par suite d'un coup donné en porte à faux, le marteau prend une inclinaison.

La disposition de la fig. 39 consiste à recouvrir la tête conique *a* de la tige d'une douille *b b* en deux parties, que l'on introduit par-dessous au moyen d'une mortaise *c* pratiquée à la suite de la douille *d* d'emmanchure. Au-dessous de la tige se logent deux blocs *e*, *f*, dont l'un *e* est destiné à opérer le serrage de la tête conique *a* contre l'emmanchure, et l'autre *f* sert à maintenir la clavette de serrage *g* que l'on chasse à coups de masse, comme précédemment. Un goujon *h* traverse une mortaise située au bout de cette clavette et l'empêche de sortir.

Les martinets employés dans les aciéries varient de poids et de vitesse suivant qu'ils sont appliqués au ressuage et à l'étirage; ce sont généralement des martinets à bascule (pl. 22, fig. 4, 5) qui, pour le ressuage, pèsent 150 kilog. environ et donnent de cent à cent vingt coups par minute, tandis que, pour l'étirage, ils pèsent de 70 à 80 kilog. et donnent de trois cents à trois cent soixante coups par minute.

On a essayé, depuis quelques années, de faire des marteaux-pilons à grande vitesse en les faisant mouvoir par des cames et renvoyer par des rabats. Les pl. 50 et 51 représentent trois systèmes de marteaux de ce genre, savoir :

Pl. 50, fig. 40, 41, 42, système *Decoster*, à *enclume* tournant sur un axe et présentant diverses étampes; *vitesse* de rotation de l'arbre à came variant à l'aide d'un mouvement différentiel; *rabat en ressorts d'acier*.

Fig. 43, 44, 45, système *Schmerber*, à *rabat* en *caoutchouc*.

Pl. 51, fig. 46, 47, 48, 49, 50, système *Farcot*, employé dans les ateliers de ce constructeur, à *rabat* en *bois*.

Ces divers systèmes peuvent donner, au maximum, deux cent cinquante coups par minute, mais n'approchent pas de la vitesse des martinets à queue ou bascule dont nous avons parlé plus

Digitized by Google

haut; en outre, leur substitution au premier n'aurait sa raison d'être qu'autant qu'ils se dérangeraient moins fréquemment, or c'est le contraire qui a lieu : aussi emploiera-t-on encore longtemps les martinets à manche en bois, quelque barbares qu'ils paraissent, comparés aux autres.

L'étirage au martinet ne s'applique guère qu'aux aciers corroyés ou fondus.

Quand il s'agit d'étirer des aciers corroyés, on commence par les buriner avec soin et leur enlever les criques, veines et pailles qu'ils peuvent avoir: ensuite on les casse en morceaux ayant chacun le poids de la barre finie qu'il s'agit d'étirer : on examine avec soin les cassures aux deux bouts et on rebute tous les morceaux qui présentent soit des inégalités dans le grain, soit un degré de dureté autre que celui que comporte l'échantillon à fabriquer.

Quand il s'agit d'étirer des aciers fondus, les lingots sont tantôt d'un, tantôt de deux creusets, et pèsent de 18 à 40 kilogr. Après les avoir burinés avec soin, on les chauffe suant dans des petits feux soufflés, analogues à ceux du corroyage, et on les étire, en deux chaudes, en barres carrées de 3 à 5 centimètres de côté, suivant les échantillons à fabriquer. Comme l'acier fondu craint l'oxygène à haute température, on a soin de le saupoudrer de *borax* anhydre pendant tout le temps qu'il chauffe. De cette manière, il atteint la chaleur suante sans se décarburer. Le ressuage fait, on porte les barres au burinage, où elles sont burinées et cassées en morceaux, comme celles d'acier corroyé.

Le chauffage des aciers, pour le petit martinet, se fait dans des petits feux soufflés, analogues à ceux du corroyage; seulement il n'y a qu'un feu qui est alimenté par de la houille. Ce feu est, comme les autres, à deux compartiments : l'un pour commencer et l'autre pour achever le chauffage à la température que comporte l'étirage ; cette température est d'autant moins basse, que le morceau à chauffer est de plus fort échantillon. L'étirage se fait tantôt en une chaude, tantôt en deux chaudes, suivant la dimension de l'échantillon à étirer.

### § 2. De l'étirage au laminoir.

Comme pour le fer, les laminoirs à acier se divisent en gros, moyen et petit mills. Le moyen et le petit mill, qui remplacent de plus en plus, tous les jours, les petits marteaux pour les aciers de coutellerie et les limes, ne diffèrent des mêmes laminoirs, pour fer, que par le moins grand nombre d'échantillons qu'ils fabriquent. Le gros mill, au contraire, qui est presque exclusivement affecté à l'étirage des aciers pour *ressorts* et des *platines* pour *tôle fine*, se compose simplement de trois paires de cylindres, savoir :

Une paire d'ébaucheurs ogives, assez analogues à ceux du fer;

Une paire de finisseurs pour étirer, alternativement, sur plat et sur champ;

Une paire de polisseurs.

Comme nous l'avons déjà dit, quand les aciers sont ressués et étirés en deux chaudes, il y a toujours un burinage entre les deux chaudes; quand ils sont ressués et étirés d'une seule chaude, comme les ressorts en acier fondu pour chemins de fer, tantôt on prépare l'entrée dans le finisseur par une ou deux cannelures plates supplémentaires, tantôt on passe directement de l'ébaucheur au finisseur sans l'intermédiaire de ces cannelures. Cela dépend beaucoup du tracé des cannelures de l'ébaucheur et des dimensions que comporte, à l'ébaucheur, l'échantillon fini.

---

## CHAPITRE II.

### DE LA FABRICATION DE LA TOLE D'ACIER.

Comme la tôle de fer, la tôle d'acier peut se diviser en *grosse tôle*, *tôle moyenne* et *tôle fine*.

Digitized by Google

La grosse tôle d'acier, qui commence à s'employer aujourd'hui pour les chaudières à vapeur, et même pour la construction des coques de navires, en place de la tôle de fer qui est toujours plus ou moins incomplétement soudée et la tôle de cuivre fondu, et, par conséquent, homogène, mais fort chère, se fabrique exclusivement en acier fondu. Les laminoirs qu'on emploie pour cette fabrication ne diffèrent en rien de ceux du fer; seulement, comme on peut obtenir des lingots homogènes à toutes dimensions, il convient de faire ces tôles aussi grandes que possible, afin de compenser, par l'économie sur la rivure, une partie de l'excédant de frais qu'entraîne la substitution de l'acier fondu au fer. En effet, bien que les chaudronniers aient été autorisés à ne donner aux chaudières en acier fondu que les deux tiers (1) des épaisseurs exigées pour les chaudières en fer ou en cuivre, l'emploi de l'acier fondu, s'il coûte au plus le quart de celui du cuivre, coûte encore plus cher que celui du fer; mais, comme il est appelé à une plus longue durée que le fer, le temps n'est pas éloigné où il lui sera substitué intégralement, et le meilleur moyen d'accélérer la réalisation de ce fait est de fabriquer de grandes tôles donnant le moins de frais de rivure possible chez les chaudronniers. Il faut donc, pour cette fabrication, des laminoirs ayant au moins 2 mètres de table et une force motrice de 800 à 1,000 chevaux.

Les lingots pour grosse tôle sont ressués et serrés, tantôt au marteau-pilon, tantôt au laminoir à tôle; puis, suivant le résultat du serrage, étirés immédiatement en deux ou trois autres demi-chaudes aux dimensions voulues, ou refroidis, burinés, puis, seulement alors, étirés. Pour le ressuage ils sont chauffés au four à réverbère, et pour l'étirage ils sont chauffés au four à tôle ordinaire, soit dormant, soit à réverbère.

Les tôles moyennes et fines se font tantôt en acier cémenté, tantôt en acier corroyé, tantôt en acier fondu; mais les plus usitées sont en acier fondu.

Pour cela, les lingots sont ressués et étirés au marteau-pilon, en plats de dimensions convenables, puis refroidis, burinés et étirés au laminoir, en platines à arêtes arrondies, que l'on découpe en morceaux à la cisaille, comme pour les tôles de fer.

Les tôles d'acier ne se recuisent pas en vase clos; on les recuit seulement au four dormant,

(1) *Copie d'une lettre de M. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics à MM. H. Petin, Gaudet et comp., de Rive-de-Gier.*

Paris, le 29 mars 1856.

Messieurs, j'ai reçu la lettre que vous m'avez fait l'honneur de m'écrire, et dans laquelle vous exposez que vous vous occupez de faire construire des chaudières à vapeur en acier fondu, semblables à celle que vous avez présentée à l'exposition universelle de 1855. Vous demandez qu'à raison de la plus grande résistance qu'offre ici le métal, comparativement à la tôle ordinaire, il soit permis de réduire l'épaisseur à donner aux parois de ces chaudières.

L'administration, Messieurs, a récemment chargé la commission centrale des machines à vapeur d'examiner la question. Il a été reconnu que, provisoirement, jusqu'à ce que des expériences directes aient pu être faites sur les résistances élastiques de l'acier fondu comparées avec la résistance de la tôle de fer, on pouvait accorder, pour les chaudières qui seraient construites avec le premier de ces métaux, une réduction d'un tiers sur les épaisseurs qui ont été fixées par l'ordonnance du 22 mai 1843 pour les chaudières en tôle ou en cuivre laminé.

J'ai, en conséquence, arrêté, d'après l'avis de la commission centrale, que les chaudières en acier fondu, lorsque la nature des matériaux employés à leur construction sera suffisamment constatée, pourront être admises à l'épreuve avec une réduction d'un tiers dans l'épaisseur exigée pour les chaudières ordinaires, et que, par suite, l'épaisseur minimum, qui est déterminée à 3 millimètres pour la tôle de fer, serait réduite à 2 millimètres pour la tôle d'acier fondu.

Lesdites chaudières seront, en outre, bien entendu, soumises à toutes les autres conditions de sûreté prescrites par les règlements de 1843 et de 1846, soit qu'elles doivent fonctionner sur terre, soit qu'elles doivent être employées à bord des bateaux.....

Digitized by Google

par paquets de 2, 3, 4, etc., que l'on fait refroidir aussi lentement que possible en les déposant toutes les unes sur les autres et en les chargeant pour qu'elles ne se gondolent pas.

C'est avec les tôles fines d'acier fondu que se fabriquent les *plumes métalliques*, les *porte-monnaie*, les *bandes à crinoline*, etc.

Les grosses tôles, pour chaudière, comportent la même qualité que les ressorts pour chemins de fer et un degré de dureté sinon moindre, du moins plus élevé.

Les tôles fines sont généralement très-douces et exigent, par cette raison, une qualité supérieure aux grosses tôles.

En résumé, on peut considérer six qualités d'aciers fondus pour le commerce, savoir :

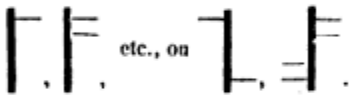
Qualité extra, dure ou douce, suivant les usages, pour filières, rasoirs, instruments de chirurgie, etc., correspondant à $\times$, $\times\times$, etc. (page 350).

1re qualité, dure ou douce, pour outils, correspondant à $\frac{\times}{\times}$, $\frac{\times\times}{\times\times}$, etc.

2e qualité, dure, pour scies trempées; mi-dure, pour scies mi-trempées; douce, pour scies douces; très-douce, pour tôle fine, correspondant à 0, 00, 000, etc.

3e qualité, très-dure, pour limes; douce, pour faux; très-douce, pour ressorts, correspondant à 1, 11, 111, etc.

4e qualité, mi-dure, pour broches de filatures, correspondant à $\frac{1}{1}$, $\frac{11}{11}$, $\frac{111}{111}$, etc.

5e qualité, très-douce, pour coutellerie, correspondant à  , etc., ou .

Digitized by Google

# QUATRIÈME PARTIE.

## DE LA PRÉPARATION DU FER BLANC.

Nous avons défini le *fer blanc :* de la tôle de fer, généralement fine, recouverte d'une couche d'*étain* pur ou allié de *plomb*.

Nous avons dit, en outre, que :

Quand l'*étain* est pur, le fer blanc porte le nom de *fer blanc brillant* et se divise en deux qualités qui dépendent exclusivement de la qualité du fer employé ; quand l'*étain* est allié de *plomb*, le fer blanc porte le nom de *fer blanc terne* et affecte plusieurs qualités dépendant aussi de la nature du fer employé. Enfin, quand la proportion d'*étain* dans l'alliage n'est rigoureusement que celle nécessaire pour faire prendre le plomb sur le fer, le fer blanc porte alors le nom de *tôle plombée*.

Lorsque nous avons traité de la fabrication du *fer noir* pour *fer blanc*, nous avons renvoyé, avec intention, à cette quatrième partie pour les opérations qui suivent le laminage des tôles fines destinées à la préparation de ce dernier ; c'est qu'en effet ces opérations diffèrent notablement de celles que comporte la fabrication de la tôle fine non destinée à l'étamage. Aussi, bien que nous ayons déjà parlé de la préparation et du laminage du fer noir pour fer blanc, reviendrons-nous sur ces opérations, non pour les décrire à nouveau, mais pour spécifier les conditions particulières auxquelles le *fer noir* doit satisfaire pour être propre à devenir *fer blanc*. A cet effet, nous diviserons les opérations que comporte la préparation du fer blanc en deux catégories distinctes, savoir :

1° Préparation du fer noir ;
2° Préparation du fer blanc.

## TITRE Ier.

### DE LA PRÉPARATION DU FER NOIR DESTINÉ A LA FABRICATION DU FER BLANC.

Quelle que soit la qualité du fer destiné à la fabrication du fer blanc, il convient qu'il satisfasse, autant que possible, aux trois conditions suivantes, savoir :

Digitized by Google

1° Soudure parfaite;
2° Absence de pailles;
3° Absence de gravelures.

En ce qui concerne la *soudure*, le meilleur moyen de l'obtenir est de n'affecter à cette fabrication que des fers rendus *tendres*, soit par les matières étrangères qu'ils renferment, soit par le carbone allié, avec intention, au métal, quand ce dernier est de qualité tout à fait supérieure.

Le fer blanc brillant devant surtout avoir de la qualité à froid, il n'est possible de lui communiquer cette qualité que par un fort corroyage. Si le métal est pur, il faut, pour l'amener à souder à cœur, le chauffer à une température exagérée qui lui fait faire beaucoup de déchets. Aussi le temps n'est-il pas éloigné, à notre avis, où on se décidera à substituer aux fers fins l'acier fondu très-doux pour la fabrication des fers blancs brillants. Il faut ou que les fabricants ne se rendent pas compte de la perte que leur occasionne un corroyage convenable, ou que les industriels qui emploient le fer blanc soient bien tolérants, pour que cette mesure n'ait pas été adoptée depuis qu'on fond si facilement et à si bas prix, à la houille, les aciers les plus doux.

Quand le fer noir n'est pas intégralement soudé, il sort des creusets à étamer recouvert de cloches ou soufflures primitivement invisibles, parce que le laminoir les avait aplaties, mais qui se manifestent dès que la température s'élève et, d'une part, dilate le gaz intercalé, d'autre part diminue la résistance du métal à l'action de ce gaz.

En ce qui concerne les *pailles*, le meilleur moyen de les éviter est de tremper dans l'eau fraîche les barres sortant rouges du laminoir, non-seulement au corroyage des fers pour la fabrication des platines à tôles, mais même après le puddlage.

Quand les pailles sont noyées dans le métal, elles se manifestent à l'étamage, comme les soudures imparfaites, par des soufflures; quand elles affleurent à la surface, elles marquent sur la couverte, soit en ne prenant pas l'étamage, par suite de la présence de l'oxyde de fer, soit en laissant un creux là où l'acide a mangé l'oxyde.

En ce qui concerne les *gravelures* ou rugosités superficielles, le meilleur moyen de les éviter est de parfaitement décaper le métal, soit par la trempe, dans l'eau fraîche, des barres corroyées, soit par le *battage* lors de l'ébauchage des morceaux au laminoir, soit à l'acide pendant le laminage.

Ces conditions remplies, la préparation du fer noir pour fer blanc s'effectue de deux manières différentes, suivant qu'il s'agit de fer blanc brillant ou de fer blanc terne. Nous allons passer successivement en revue ces deux modes de préparation.

---

## CHAPITRE PREMIER.

### DE LA PRÉPARATION DU FER NOIR POUR FER BLANC BRILLANT.

La préparation du fer noir pour fer blanc brillant se compose de cinq opérations principales qui se répètent un plus ou moins grand nombre de fois, savoir :

1° Le rognage,
2° Le dérochage,
3° Le laminage à froid,
4° Le recuit en vase clos,
5° Le récurage.



Digitized by Google

### § 1er. Du rognage.

Le rognage du fer blanc s'effectue, comme celui des tôles moyennes et fines, au moyen de cisailles à main desservies par deux hommes, dont l'un place les coupes ou feuilles à rogner et l'autre manœuvre, à l'aide d'un levier, le couteau de la cisaille.

On distingue, pour le fer blanc brillant, deux rognages, savoir :

Le rognage brut,
Le rognage net.

Le rognage brut s'effectue, comme celui de la tôle à tuyaux, sur les coupes et à un nombre d'épaisseurs de feuilles qui varie, comme nous l'avons vu (page 313), entre quatre et douze. Ce rognage se fait toujours fort, c'est-à-dire avec un bord supplémentaire dépassant de 0m.002 environ tout autour les dimensions rigoureuses qne doit avoir la feuille rognée net ; il précède toujours le décollage des feuilles.

Le rognage net s'effectue sur les tôles décollées et préalablement soumises aux opérations subséquentes ; les tôles, prises par paquets de trois, quatre, cinq ou six, sont rognées à l'aide de guides fixes qui leur communiquent, à toutes, les dimensions que doit avoir le fer blanc fini.

Une cisaille ainsi constituée rogne, en douze heures, vingt-cinq caisses de fer blanc IC ; soit, à raison de deux cent vingt-cinq feuilles la caisse, un total de cinq mille six cent vingt-cinq feuilles, pesant ensemble 1,250 kilog. environ.

### § 2. Du dérochage.

Le dérochage ou décapage est une opération qui a pour but de faire disparaître tout l'oxyde de fer adhérent à la surface des feuilles et qui s'opposerait à l'alliage superficiel d'étain et de fer auquel est dû l'étamage plus ou moins épais du métal ; il s'effectue au moyen des acides affaiblis. A cet effet, on emploie tantôt l'acide hydrochlorique, tantôt l'acide sulfurique.

Le dérochage à l'acide hydrochlorique ne s'applique qu'aux tôles fabriquées par la méthode dite des Ardennes ; il consiste à plier en deux les feuilles ébauchées et, après les avoir trempées une première fois dans l'acide fort, à les chauffer au rouge dans un four dormant dont le registre et les portes sont soigneusement fermés, de manière à ce qu'elles séjournent dans un milieu entièrement composé d'oxyde de carbone.

Quand les feuilles sont chaudes, on les retire une à une, et on les frappe, avant de les laminer sur deux épaisseurs. Le frappage en détache une croûte plus ou moins épaisse d'oxyde, et il ne leur reste plus, après laminage, que la teinte bleue qu'affecte la très-petite épaisseur de battitures dont elles sont recouvertes. Un second décapage à l'acide faible les rend propres à l'étamage.

Le dérochage à l'acide sulfurique, spécialement applicable au laminage du fer en coupes, s'effectue de la manière suivante, abstraction faite du petit dérochage qui a lieu pendant le laminage après l'ébauchage, et qui a pour but de diminuer les gravelures pendant le reste de cette opération :

On verse dans un bac environ 720 litres d'acide sulfurique à 60 degrés de l'aréomètre et par-dessus 120 litres de goudron provenant des cornues à gaz de la houille. Le goudron surnage, mais, après un brassage énergique, il finit par se mélanger en partie avec l'acide ; on ajoute alors suffisamment d'eau pour amener le degré de l'aréomètre à 16 dergés. On laisse reposer pendant vingt-quatre heures et on tire à clair, en laissant dans le bac le goudron non dissous.

Digitized by Google

L'acide, ainsi préparé, sert à effectuer le premier dérochage des feuilles préalablement rognées. Les feuilles sont placées une à une dans des peignes (pl. 49, fig. 40, 41) en cuivre rouge, qui en contiennent chacun vingt-cinq, et plongées dans l'acide affectant une température de 70 degrés, par l'effet d'un serpentin dans lequel circule de la vapeur d'eau, pendant un temps, que l'expérience indique, qui varie suivant leur épaisseur et la force de l'acide. Cinq peignes de vingt-cinq feuilles chacun suffisent pour dérocher, en douze heures, quarante caisses de fer blanc IC.

Au sortir de la bâche à dérocher, les feuilles sont plongées, au moyen des peignes, d'abord dans une bâche d'eau courante froide, qui leur enlève l'acide dont elles sont chargées, puis ensuite dans une bâche d'eau bouillante, dont le but est d'accélérer le séchage de la manière suivante :

Au sortir de la bâche d'eau chaude, les peignes sont placés dans une caisse en fonte chauffée au rouge-cerise, qui opère le séchage d'autant plus promptement que l'eau de la bâche précédente était plus chaude.

Ainsi séchées, les feuilles sont retirées des peignes et envoyées au laminoir à froid.

Quand l'acide a servi quelque temps, on remarque que, par suite de sa conversion en sulfate de fer, le degré de l'aréomètre du bain s'élève : tant qu'il n'a pas atteint 25 degrés, le bain est bon, seulement la durée du trempage doit augmenter; à 25 degrés, l'acide est usé, et il faut le renouveler.

Un second *dérochage*, qui précède le *récurage*, se fait à peu près de la même manière que le premier, dans un bain d'acide à 50 degrés de température et à 9 degrés de l'aréomètre; seulement, au lieu de goudron, on met du *son;* il est bon jusqu'à 16 degrés de l'aréomètre. Le serpentin qui chauffe ce bain est percé de petits trous qui y injectent de la vapeur d'eau; toutes les heures on retire une petite portion de l'acide saturé et on la remplace par de l'acide pur.

Au sortir de ce second bain, les feuilles sont plongées dans l'eau courante froide, puis retirées des peignes et soumises au *récurage*, sans séchage préalable : pour éviter qu'elles ne se rouillent, on les conserve là dans un baquet rempli d'eau.

Le but du goudron, dans le premier dérochage, est tout mécanique : il a pour but d'intercaler un corps entre le fer et l'acide, lorsque le premier est suffisamment décapé. Quand on ne met pas de goudron, l'acide pénètre inégalement dans les porosités du métal, et y pratique des piqûres qui se manifestent à l'étamage. Comme chaque atome d'acide est accompagné d'un atome de goudron, il en résulte que, lorsque cet atome a agi sur le métal, le goudron vient, à son tour, prendre la place du premier, et préserve le métal de l'action d'un second atome. Voilà, à peu près, comment on peut expliquer l'action du goudron, action tellement importante, que, sans lui, le dérochage à l'acide sulfurique est impraticable. On a essayé d'autres corps, tels que la sciure de bois, le son, etc., mais ces substances, employées seules, sont insuffisantes pour ce premier dérochage.

Le dérochage à l'acide sulfurique présente, sur le dérochage à l'acide hydrochlorique, l'avantage de faire infiniment moins de déchets, tout en donnant des résultats aussi satisfaisants comme fabrication. On évalue à 1ᵏ.50 le déchet que subit, aux dérochages, une caisse de fer blanc I C, c'est-à-dire représentant une superficie de 20 mètres carrés; la consommation en acide correspondant au déchet est de 5 kilogr., savoir :

| | |
|---|---|
| Au 1ᵉʳ dérochage. . . . | 3ᵏ.00 |
| Au 2ᵉ dérochage. . . . | 2ᵏ.00 |
| Total. . . . | 5ᵏ.00 |

Digitized by Google

### § 3. Du laminage à froid.

Le laminage à froid s'exécute, feuille à feuille, à un laminoir de 20" au plus, dont les cylindres, parfaitement polis, roulent, toujours serrés à fond, et font de 15 à 20 tours seulement par minute.

Le but primitif du laminoir à froid était d'abattre les bavures que laisse la cisaille aux feuilles rognées et aussi de redresser les feuilles chiffonnées par le décollage; mais, depuis quelques années, le laminage à froid a acquis une importance considérable depuis qu'on s'est aperçu qu'il a pour effets, d'une part, de diminuer la proportion d'étain qu'exige la couverture d'une surface donnée de métal, et, de l'autre, de donner à cette surface un tel brillant, qu'elle paraît d'autant plus chargée d'étain qu'elle en contient moins. Il en est résulté que le laminage à froid, qui, autrefois, se pratiquait deux fois sur chaque feuille, savoir : une fois après le rognage brut et le premier dérochage et une fois après le second rognage, se pratique aujourd'hui jusqu'à six fois; et, malgré ce supplément de main-d'œuvre, avec une économie notable.

### § 4. Du recuit en vase clos.

Le recuit, en vase clos, des fers noirs pour fers blancs s'effectue dans des petites boîtes en fonte ayant intérieurement :

| | |
|---|---|
| Longueur. . . . | 0m.56 |
| Largeur. . . . . | 0m.43 |
| Hauteur. . . . . | 0m.25 |

qui contiennent, suivant les dimensions des feuilles et la possibilité de faire une ou deux piles, tantôt 1,250, tantôt 850 feuilles. Ces boîtes, accouplées deux à deux sur la même longueur comprise entre les portes d'introduction et de sortie, sont au nombre de huit dans un même four chauffé par deux grilles transversales et bout à bout. Il en résulte que chaque fournée peut recuire soit 45 caisses I C, à deux piles par boîte, soit 30 caisses I D C, à une pile par boîte, les caisses de ces marques étant de 225 feuilles chaque.

Le chauffage dure, suivant les épaisseurs du fer blanc, de 24 à 36 heures, et le déboîtage se fait toujours froid, afin que les feuilles soient le moins détériorées que possible par l'action de l'oxygène.

### § 5. Du récurage.

Le récurage est une opération qui précède immédiatement l'étamage, et a pour but d'enlever les dernières traces d'oxyde adhérent après les feuilles : il est fait par des femmes, dont l'une brosse les feuilles une à une dans l'eau, avec addition de sable fin; une seconde les lave, et une troisième les trie pour retirer les graveleuses et les renvoyer au dérochage.

Voici l'ordre dans lequel s'effectuent les diverses opérations concernant la préparation du fer noir pour fer blanc brillant.

Autrefois, la préparation du fer noir comprenait huit opérations, savoir :

Digitized by Google

1° Rognage brut;
2° Dérochage n° 1;
3° Laminage à froid;
4° Recuit en vase clos;
5° Rognage net;
6° Passage à froid;
7° Dérochage n° 2;
8° Récurage.

C'étaient, on peut dire, les huit opérations strictement nécessaires, attendu que, du moment où l'on rogne avant le recuit, ce rognage ne peut être que brut, car les feuilles de fer brûlé, cassant à la cisaille, seraient rebutées à la suite d'un rognage net. Chaque rognage nécessitant un laminage à froid pour abattre les bavures, il y a, nécessairement, deux laminages à froid.

En procédant ainsi, on consommait 5 kilogr. d'étain par caisse I C, de 20 mètres carrés,

4ᵏ.75 réellement utilisés;
0ᵏ.25 déchet.

Aujourd'hui on divise la préparation du fer noir en 13 opérations, savoir :

1° Rognage brut;
2° Dérochage n° 1, sans séchage;
3° Laminage à froid pour abattre les bavures et dresser les feuilles chiffonnées;
4° Recuit en vase clos;
5° Laminage à froid, très-serré, pour polir la surface des feuilles;
6° *id.*, *id.*, *id.*;
7° *id.*, *id.*, *id.*;
8° Recuit en vase clos;
9° Laminage à froid pour polir la surface des feuilles;
10° Rognage exact;
11° Laminage à froid pour abattre les bavures;
12° Dérochage n° 2;
13° Récurage.

La suppression du séchage, qui nécessite le passage à froid des feuilles trempées dans l'eau froide seulement, a pour but d'éviter les incrustations dans le métal par le laminage à froid de l'hydrate de fer qui se forme au séchage.

Du reste, d'après ce que nous avons dit plus haut, ce mode d'opérer se conçoit facilement. Le deuxième recuit est nécessaire, non-seulement parce que le triple laminage à froid a détruit, par son écrouissage, la souplesse des feuilles sortant du premier recuit, mais encore parce que le second rognage ne peut se faire qu'après ces divers laminages qui ont pour effet d'augmenter la superficie des feuilles.

En procédant ainsi, on ne consomme plus que 4 kilogr. au plus d'étain par caisse I C, de 20 mètres carrés, savoir :

3ᵏ.75 utilisés;
0ᵏ.25 de déchet.
Total. . . . 4ᵏ.00

On économise ainsi au moins 1 kilogr. d'étain par caisse, et le fer blanc est infiniment plus beau.

Digitized by Google

## CHAPITRE II.

### DE LA PRÉPARATION DU FER NOIR POUR FER BLANC TERNE.

Pour fer blanc terne, les opérations préparatoires sont moins compliquées et se composent de 7 seulement, savoir :

1° Rognage exact;
2° Dérochage n° 1 et séchage;
3° Laminage à froid;
4° Recuit en vase clos, collant;
5° Laminage à froid, après décollage;
6° Dérochage n° 2;
7° Récurage ou rinçage.

Le premier dérochage s'effectue comme celui du fer blanc brillant.

Pour le second dérochage, on réduit l'acide à 15°, mais on ajoute du goudron comme au premier. Il y a sept peignes de vingt-cinq feuilles, dont cinq sont plongés dans l'acide et deux en manipulation, c'est-à-dire un qu'on enlève et un qu'on dégarnit et regarnit. Chaque peigne reste ainsi dans l'acide le temps que prend la garniture des cinq autres, soit 6 à 8 minutes. On déroche ainsi environ 1,000 feuilles par heure, ou 40 caisses en 12 heures.

Pour tôles 24° à plomber, on ne fait qu'un dérochage; on donne au bain neuf 12° de l'aréomètre, et on s'en sert jusqu'à ce qu'il marque 16°. Les feuilles restent plus longtemps que les fers blancs, et la température ne doit pas dépasser 30°. Un bain d'acide, renouvelé en partie de temps en temps, peut dérocher environ 15 charges de 40 feuilles.

On comprend que, dans ce dernier cas, les feuilles étant fort lourdes à manœuvrer, il ne serait pas possible de les faire passer économiquement par toutes les opérations que subissent les fers blancs.

# TITRE II.

### DE LA PRÉPARATION PROPREMENT DITE DU FER BLANC.

Nous diviserons ce titre en trois chapitres, savoir :

1° De la préparation du fer blanc brillant;
2° De la préparation du fer blanc terne;
3° De la préparation des tôles plombées.

## CHAPITRE PREMIER.

### DE LA PRÉPARATION DU FER BLANC BRILLANT.

La première condition à remplir pour la préparation du *fer blanc brillant* est de se procurer

Digitized by Google

de l'*étain* pur. Quand l'*étain* est allié d'autres métaux, non-seulement il prend mal sur le fer, mais encore il est plus ou moins terne et affecte des textures qui varient suivant la matière étrangère à laquelle il est allié.

C'est une erreur de croire que la pureté de l'étain est caractérisée par le craquement qu'il fait entendre quand on le ploie. Nous avons observé que ce métal, reconnu trop impur pour être affecté à l'étamage, a quelquefois le *cri* d'autant plus prononcé qu'il est moins pur.

Pour reconnaître si l'*étain* est propre à l'étamage, il faut le faire fondre dans un four analogue à celui représenté dans la figure 42 (pl. 49), et pour lequel on a :

A, A, grilles;

B, B, plaques en fonte inclinées, sur lesquelles se déposent les lingots d'étain;

C, C, cuvettes en fonte où coule l'étain fondu, après avoir déposé sur les parties planes l'oxyde qui le recouvre;

D, orifice d'échappement de la fumée.

Quand l'étain est en fusion dans les cuvettes C, C, on en place une petite quantité avec une cuiller en fer et on la verse sur une plaque de tôle inclinée; l'étain coule, puis se fige en un *bouton* qui présente les caractères suivants, savoir :

Si l'étain est pur, ce bouton est brillant et parfaitement arrondi sur toute sa surface, sans aucune dépression.

Si, au contraire, l'étain est impur, tantôt ce bouton est terne, tantôt il est déprimé à sa partie supérieure et accuse une cristallisation intérieure, tantôt enfin il est terne et déprimé.

Nous ne nous arrêterons pas à déterminer la nature des corps étrangers qui modifient ses propriétés, cela est inutile. Toutes les fois que le bouton ne présente pas l'aspect correspondant à l'état de pureté chimique du métal, il doit être rebuté, du moins pour le *fer blanc* brillant. Comme tous les lingots n'offrent pas toujours les mêmes imperfections, il convient de les fondre un à un, et, après essai, d'en verser le produit liquide dans des lingotières. C'est pour cela que le four est à deux compartiments symétriques; pendant qu'on opère sur un lingot fondu, l'autre entre en fusion, et l'ouvrier perd moins de temps.

Pour procéder à l'étamage du fer, il convient de remarquer que :

1° Le fer noir, préparé pour recevoir la couverte d'étain, est déposé dans un bac rempli d'eau;

2° L'étamage comporte deux opérations principales, savoir :

L'alliage superficiel de l'étain au fer et l'addition d'une couche plus ou moins épaisse d'étain, suivant l'aspect plus ou moins *gras* que doit avoir la couverte.

En ce qui concerne l'*état du fer noir* prêt à subir l'étamage, il est évident que, si on le plongeait mouillé dans le bain d'étain, l'eau dont il est recouvert se décomposerait, et on ne retirerait du bain qu'une feuille de fer oxydé. Il faut donc opérer le séchage du métal avant de le plonger dans le bain d'étain. Or, si on l'essuie feuille à feuille, il faut ou n'étamer qu'une feuille à la fois, ou, si on en prépare un grand nombre, les voir se recouvrir d'oxyde au contact de l'air pendant le peu de temps qu'elles y sont exposées. On a recours à un moyen plus simple.

L'étain entre en fusion, d'après *Creighton*, à 228°. L'huile d'olive, le *suif*, le *saindoux*, fondus, ne commencent à se décomposer ou à entrer en ébullition qu'à une température dépassant 400°. Si on plonge une lame de fer décapée et mouillée dans un bain d'huile fondue, l'eau qui la recouvre ne se décompose pas comme au contact de deux métaux et s'évapore d'autant plus rapidement que la température est plus élevée. Il en résulte que, si on recouvre le bain d'étain fondu d'un bain d'*huile*, de *suif* ou de *saindoux*, les feuilles de fer noir plongées dans ce double bain se dépouil-

Digitized by Google

lent, en passant dans le bain d'huile, de l'eau qui les recouvre, et entrent dans le bain d'étain sèches et aussi décapées que précédemment.

Voilà pour la théorie. Pratiquement, il convient d'ajouter une recommandation, à savoir que l'opération ne réussit complétement qu'autant qu'on emploie de la vieille graisse, c'est-à-dire de la graisse qui a été déjà chauffée longtemps. Si on n'a pas recours à cette précaution, l'étamage est imparfait. Cela tient à plusieurs causes.

D'abord la graisse neuve, quoique fondue, contient encore quelques parcelles d'eau qui ne s'évaporent qu'à la longue.

En second lieu, la vieille graisse dissout une forte proportion de carbone libre ou combiné qui a pour effet soit de décaper plus complétement les feuilles de fer noir, qui, après un séjour d'une heure dans l'eau, prennent la teinte verte de l'hydrate de protoxyde, soit d'empêcher l'action, sur le fer, de l'oxygène provenant de la décomposition accidentelle de l'eau, au moment où l'on plonge les feuilles dans le creuset à *étamer*.

En ce qui concerne l'*étamage*, il convient d'observer que, si le fer, en contact avec l'étain liquide, s'allie à ce métal, la vitesse avec laquelle l'alliage a lieu est d'autant plus grande, que la température est plus élevée. Or, d'un autre côté, quand on plonge une feuille de fer blanc dans un bain d'étain, la quantité d'étain dont se charge cette feuille est d'autant plus grande, que la température du bain est plus basse. Il résulte de là que l'étamage du fer exige au moins deux creusets, savoir :

Un creuset à allier les métaux ;
Un creuset à couvrir d'étain.

Pour reconnaître la température des bains d'*étain*, on fait usage, au lieu de thermomètres, de simples morceaux de papier. Quand on plonge un bout de papier dans un bain d'étain, ce papier jaunit d'abord et devient d'autant plus noir que le bain est plus chaud ; il est même un moment où il prend feu.

La teinte *jaune paille* correspond au bain froid, c'est-à-dire à l'étain fondu, affectant une température de très-peu supérieure à celle de la fusion.

La teinte *noire* correspond au bain chaud, c'est-à-dire bon pour l'étamage.

Le service de l'étamage comporte six creusets, savoir :

1° Le creuset à la graisse pour étamer ;
2° Le creuset à étamer ;
3° Le creuset à rafraîchir ;
4° Le creuset à tremper dans l'étain ;
5° Le creuset à tremper dans la graisse ;
6° Le creuset à lisières.

Ces six creusets sont à la suite les uns des autres, en commençant par le creuset à graisse de l'étameur, qui est à droite. L'opération marche de droite à gauche pour un motif que nous donnerons tout à l'heure.

### 1° *Du creuset à graisse de l'étameur.*

Le creuset à graisse de l'étameur est une capacité en fonte ayant environ 0m.50 de côté dans tous les sens, et servant à évaporer l'eau dont sont recouvertes les feuilles décapées. A cet effet, il contient de la vieille graisse presque bouillante jusqu'à moitié de sa capacité, de manière à ne pas se refroidir trop promptement quand l'étameur y plonge le fer noir.

Digitized by Google

Pour évaporer l'eau dont sont recouvertes les feuilles décapées, quand on les retire du baquet où elles ont été déposées après récurage, l'étameur prend à la main un paquet de 20 à 30 feuilles et les plonge, une à une, dans le creuset à graisser, de manière à ce qu'en se déposant les unes sur les autres elles se trouvent séparées par une couche de graisse.

La température de la graisse étant très-élevée, il se produit alors une violente évaporation de l'eau et un boursouflement de la graisse qui la fait déborder hors du creuset. Quand l'effervescence est passée, l'étameur redresse les feuilles couchées, et les empile, verticales, dans un coin du creuset, puis il recommence avec un autre paquet, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il y ait une charge d'environ 500 feuilles.

### 2° *Du creuset à étamer.*

Comme le creuset à graisse, le creuset à étamer est une capacité cubique ayant environ 50 centimètres dans tous les sens. Il est rempli d'étain en fusion jusqu'à moitié de sa hauteur, et la chaleur y est entretenue par un foyer spécial situé au-dessous.

Quand le bain a atteint une température suffisante pour noircir le papier, l'étameur, chef de brigade, verse dessus quelques cuillerées de graisse, qu'il puise dans son creuset à graisse; puis, prenant avec des tenailles un paquet de feuilles dans le même creuset, il le plonge dans le creuset à étamer, en ayant soin de poser les feuilles verticales et de les maintenir légèrement écartées entre elles, afin que l'étain pénètre partout.

Quand le premier paquet est en place, il en met un second, et ainsi de suite, jusqu'à ce que toute la charge y soit.

Cela fait, il écarte successivement les feuilles avec sa tenaille, de manière à renouveler le métal liquide en contact avec le fer, et laisse reposer quelque temps. Quand l'étameur, après avoir examiné quelques feuilles, juge que l'étain a eu le temps de prendre sur le fer, il enlève un paquet de feuilles, en commençant par les premières introduites, et le plonge dans le creuset à rafraîchir dont nous allons parler.

### 3° *Du creuset à rafraîchir.*

Le creuset à rafraîchir, composé exclusivement d'*étain*, doit affecter une température suffisante pour communiquer au papier une teinte *jaune* prononcée. Il est recouvert d'une couche de 1 à 2 millimètres de graisse neuve, dont le but unique est d'empêcher le contact de l'air d'oxyder la surface du bain métallique.

Quand l'étameur juge que les feuilles sont suffisamment alliées d'étain, il retire la graisse qui recouvre son bain, il les prend par paquets, comme précédemment, et les plonge dans le creuset à rafraîchir. Là, un ouvrier, qu'on nomme *le brosseur*, prend chaque feuille, une à une, de la main gauche, à l'aide d'une petite tenaille, et, de la main droite, lui donne un léger coup de *brosse* sur chaque face.

C'est cette opération qui nécessite que le travail de l'étamage se fasse de droite à gauche; il n'y a que dans le cas où le brosseur peut travailler de la main gauche que le travail se fait de gauche à droite.

Le brossage est une opération très-délicate, qui a pour but de compléter l'étamage; c'est quelque chose d'analogue au serrage dans le soudage du fer. Quand les feuilles ne sont pas brossées, on s'en aperçoit aux irrégularités qu'elles présentent finies. Quand le brossage est trop fort, les feuilles conservent, jusqu'à la fin, la trace des raies imprimées par la brosse sur l'étain.



Digitized by Google

### 4° *Du creuset à tremper dans l'étain.*

Le creuset à tremper dans l'étain est exclusivement affecté à la seconde opération de l'étamage proprement dit, c'est-à-dire à ajouter de l'étain non allié à l'alliage superficiel produit dans le creuset à étamer, et à donner un aspect plus ou moins gras à la superficie de l'étain.

La température de ce creuset doit être suffisante pour communiquer au papier une teinte *jaune paille*. Un peigne, placé au fond, y reçoit les feuilles que dépose le brosseur, au fur et à mesure qu'il les a passées à la brosse. Ce peigne a pour but d'empêcher les feuilles de se toucher, afin qu'elles soient entièrement enveloppées d'étain en fusion. Le nombre des dents dont il est armé est variable, et d'autant plus grand que l'épaisseur des feuilles est plus forte. Cela tient à ce que les feuilles, introduites une à une dans ce bain par le brosseur, en sont retirées une à une également par le *trempeur* et dans l'ordre où elles ont été introduites. Or elles mettent d'autant plus de temps à acquérir, par refroidissement, la température du milieu dans lequel on les plonge, qu'elles sont plus épaisses. Il faut donc qu'elles y séjournent plus longtemps quand elles sont épaisses que quand elles sont minces.

Le moyen le plus simple d'arriver à ce résultat, tout en conservant au *trempeur* un travail continu, est d'augmenter ou de diminuer, suivant le cas, le nombre des feuilles qui plongent en même temps dans le creuset à tremper. A cet effet, le nombre des dents des peignes varie entre cinq et huit, savoir : cinq pour le clinquant et huit pour le fer blanc à la X.

Le trempage à l'étain est une opération presque aussi délicate que le brossage, en ce sens que la régularité de l'étamage dépend beaucoup de la manière dont les feuilles sont retirées du creuset à tremper. Si elles sont retirées trop vite, l'étain n'a pas le temps de couler, et, se figeant sur la feuille, produit un étamage gras, il est vrai, mais très-coûteux. Si, au contraire, elles sont retirées trop lentement, tout l'étain non allié coule, et l'étamage est trop maigre. Si enfin le tirage est irrégulier, c'est-à-dire avec des intermittences ou des soubresauts, l'étamage est irrégulier et la feuille est marquée de raies qui la rendent invendable.

La quantité d'étain que doit contenir une caisse de chaque marque de fer blanc brillant est très-variable. Quand le tirage des feuilles se fait bien au creuset à tremper, cette quantité se règle par la température du bain, qui peut être d'autant plus basse, sans augmentation de dépense, que les feuilles sont plus polies.

### 5° *Du creuset à tremper dans la graisse.*

Le creuset à tremper dans *la graisse* est destiné spécialement à corriger les imperfections du tirage des feuilles hors du creuset à tremper. C'est un creuset rempli de graisse neuve liquide, affectant une température de très-peu supérieure à celle du creuset à tremper. Il est, comme ce dernier, muni d'un peigne pour recevoir les feuilles, armé de dents en nombre proportionnel, non à l'épaisseur des feuilles, mais à la maigreur qu'on veut communiquer aux feuilles.

Ainsi, tandis que l'I C a cinq places dans le creuset à graisse, la X n'en a que quatre, parce que la X est un fer blanc qui doit être toujours très-chargé en étain.

Le tirage du creuset à la graisse est aussi difficile que le tirage du creuset à l'étain. S'il n'est pas parfaitement régulier, l'étain se fige irrégulièrement et les feuilles sont marquées de raies.

Digitized by Google

### 6° *Du creuset à lisières.*

La température du creuset à la graisse étant au moins égale à celle du creuset à tremper, l'étain qui recouvre les feuilles qu'on y plonge est liquide; il en résulte que cet étain s'écoule le long des feuilles, et en quantité d'autant plus grande, qu'elles restent plus longtemps dans le creuset. Cet étain s'accumule à l'arête inférieure de la feuille, et y fait un bourrelet qu'il faut faire disparaître.

A cet effet, lorsque les feuilles sortent du creuset à la graisse, elles sont posées dans un peigne à 8 ou 10 dents, le nombre importe peu, placé dans un milieu tantôt froid, tantôt chaud, à la suite dudit creuset; là, un gamin les prend et plonge l'arête inférieure des feuilles, en les prenant deux à deux, une par chaque main, dans un bain d'étain ayant même température que le creuset à rafraîchir et une hauteur de métal de 6 à 8 millimètres seulement; puis il les retire en les inclinant de manière à faire couler tout l'étain dans un angle qu'il sort lentement du creuset. Par ce moyen, le bourrelet entre en fusion et est remplacé par une *lisière*, qui est toujours plus maigre que le reste de la feuille.

### Du nettoyage du fer blanc brillant.

Le fer blanc sortant de l'étamage retient toujours une petite proportion de graisse adhérente. Pour enlever cette graisse, on emploie des femmes qui plongent les feuilles, une à une et successivement, dans quatre, cinq ou six caisses remplies de farine d'autant plus pure que l'opération approche de sa fin. Il va sans dire que quand la farine de la dernière caisse a besoin d'être renouvelée, on ne la jette pas, mais on l'emploie à renouveler celle de l'avant-dernière, et ainsi de suite jusqu'à la première.

Après le passage à la farine viennent l'essuyage à la peau de mouton, le redressage des coups de tenaille au marteau, puis la remise des feuilles au magasin.

### Du triage.

Avant d'encaisser le fer blanc brillant, il convient d'examiner successivement toutes les feuilles, afin de pouvoir en faire trois catégories, savoir :

1° Le fer blanc, 1er choix;
2° Le fer blanc, 2e choix;
3° Le fer blanc à repasser.

Le fer blanc, premier choix, est celui qui ne renferme ni soufflures, ni gravelures, ni marques provenant d'un étamage imparfait.

Le fer blanc, deuxième choix, est celui qui ne renferme, en fait de défauts, que ceux qu'on ne peut corriger, et proviennent soit du laminage, soit du dérochage, soit de l'étamage.

Le fer blanc à repasser est celui qui, remis dans le creuset à laver, peut, au moyen d'une seconde passe, être vendu comme premier ou deuxième choix. En général, si on voulait que le premier choix fût irréprochable, on ferait autant de deuxièmes choix que de premiers. Aussi, comme il est presque impossible d'obtenir moitié des feuilles irréprochables, le premier choix porte le nom de choix mêlés, et le deuxième porte le nom de troisième choix ou *mastre*.

Digitized by Google

Une brigade d'étamerie brillant fait environ 9 charges par 12 heures, correspondant à 20 caisses I C de 225 feuilles.

Les caisses dans lesquelles se met le fer blanc sont en bois de *hêtre* et portent toutes la marque du fer blanc qu'elles contiennent.

Les déchets et consommations en matières, pour la préparation du fer brillant, sont, par caisse de I C :

| | | |
|---|---|---|
| 1° Au dérochage. . . . . | fer, déchet. | 1ᵏ.50 |
| . | acide à 60°. | 5ᵏ.00 |
| 2° A l'étamage. . . . . | étain . . . | 4ᵏ.00 |
| | graisse. . . | 1ᵏ.00 |

Comme sur les 4 kilogr. d'étain consommés il y en a 3ᵏ.75 qui restent après le fer noir, le résultat de l'étamage du fer noir I C est d'augmenter son poids de 3ᵏ.75 — 1ᵏ.50 = 2ᵏ.25 par caisse de 225 feuilles.

---

## CHAPITRE II.

### DE LA PRÉPARATION DU FER BLANC TERNE.

La fabrication du fer blanc terne a principalement pour but de substituer le *plomb*, qui vaut 0 fr. 60 cent. le kilogr., à l'étain, qui vaut 3 fr. le kilogr., pour tous les usages où la présence de l'étain n'est pas indispensable, tels que caisses d'emballage, par exemple. Quant à la qualité du fer, elle varie nécessairement, suivant le travail auquel le fer blanc terne est destiné; et quoique, généralement, cette qualité soit assez inférieure, comparée au fer blanc brillant, il peut se présenter des cas où le terne exige une qualité équivalente à celle du brillant.

Le plomb est un métal qui diffère de l'étain en ce que, mis seul en présence du fer, il ne s'allie pas avec lui; il faut la présence de l'étain pour que l'alliage, ou plutôt la couverture, ait lieu; l'étain remplit là l'office de soudure entre les deux métaux.

La proportion d'étain que doit contenir un bain de plomb, pour prendre sur le fer, est minime, quand le premier métal est bien épuré, c'est-à-dire complétement débarrassé d'oxygène en dissolution ou d'oxyde en suspension. Nous avons déjà parlé de cet état du plomb liquide (page 28); nous allons y revenir parce qu'il joue un rôle important dans le plombage des tôles :

Quand on plonge une feuille de tôle décapée dans un bain de plomb allié d'étain, mais neuf, en prenant les précautions nécessaires pour que l'eau qui recouvre la surface de cette feuille s'évapore à temps, le plomb ne prend pas sur le fer et on retire ce dernier du bain recouvert d'une couche de rouille.

En renouvelant l'opération sur un grand nombre de feuilles, 100, 200, 300, etc., on remarque que la couche de rouille va en s'affaiblissant, et que la feuille prend de mieux en mieux l'étamage.

C'est donc, comme nous le disions plus haut, l'oxygène en dissolution ou l'oxyde en suspension dans le métal qui produit cet effet : pour l'éviter, au lieu de détériorer des feuilles en les trempant dans ce bain mal préparé, on maintient ce dernier liquide pendant aussi longtemps que cela peut être nécessaire, quinze jours au moins, et on y plonge, de temps à autre, des branches de bois vert qui, en se décomposant sous l'influence de la température, dégagent des

Digitized by Google

gaz combustibles qui font remonter à la surface du bain une grande quantité d'oxyde et saturent probablement en même temps une partie de l'oxygène dissous, s'il y en a.

Pour qu'un bain ainsi préparé prenne bien sur le fer, il faut qu'il soit allié d'environ 1/8 d'étain; cependant, dès qu'il est en bonne marche et n'oxyde plus les feuilles de fer qu'on y plonge, si on a soin de renouveler le métal emporté par le plombage des feuilles, par petites fractions à la fois au moyen de lingots de plomb refondu, on peut se servir indéfiniment du bain sans rajouter de l'étain; ce qui autorise à supposer que si l'alliage du fer et du plomb paraît, au premier abord, impossible, cela tient exclusivement à l'impureté du plomb qui, exposé à l'air, même solide, dissout l'oxygène ou se combine avec lui.

Or le fait du plombage sans addition d'étain, qui est connu aujourd'hui et modifie de fond en comble la fabrication du fer blanc terne, était inconnu autrefois; de plus, il présente, dans son application à la préparation du fer blanc terne, des difficultés qu'il n'était pas facile de vaincre du premier coup. La préparation du fer blanc terne, telle que nous allons la décrire, a donc eu sa raison d'être, et nous n'oserions pas affirmer qu'elle ne l'a plus aujourd'hui; le lecteur va, du reste, en juger.

Quand on *plombe* le *fer*, la température du bain métallique est d'autant plus élevée que le plomb est plus pur. En effet, tandis que, d'après *Creighton*, l'étain fond à 228 degrés, d'après le même expérimentateur le plomb fond seulement à 325 degrés. Il en résulte que, pour faire prendre ce métal sur le fer, il faut le chauffer à plus de 400 degrés, qui est à peu près le point d'ébullition de la graisse. Si donc on employait la graisse comme intermédiaire entre le bain de plomb et le fer noir pour évaporer l'eau qui recouvre ce dernier, non-seulement elle s'évaporerait rapidement et ferait un grand déchet, mais encore elle prendrait feu à chaque instant et rendrait le travail impossible.

Il faut donc, pour le plombage, une autre substance que la graisse; la substance qui a été trouvée le plus convenable, et cela il n'y a pas très-longtemps, est le chlorure de zinc, dit, dans dans le commerce, beurre de zinc, par suite de l'analogie qui existe entre sa friabilité et celle des corps gras.

Mais le plombage et l'étamage au chlorure de zinc ne s'effectuent pas aussi facilement que l'étamage à la graisse, et ils exigent une manœuvre qui augmente de beaucoup les frais de façon.

Aujourd'hui on est arrivé à réduire assez ces frais pour qu'il y ait avantage à plomber au plomb presque pur; mais pendant longtemps il n'en a pas été ainsi. Il fallait donc, pour employer le plomb, l'allier d'une assez forte proportion d'étain pour que la température du bain fût assez basse et permit l'emploi de la graisse.

Le fer blanc terne, tel qu'on le préparait autrefois et tel qu'on le prépare encore dans beaucoup de localités, se trouve, par cette raison, être un fer blanc dont la couverte contient un quart étain et trois quarts plomb : il comporte, comme l'étamage, un creuset à graisse et trois bains métalliques; seulement il ne nécessite pas le *brossage*.

Les trois creusets à bain métallique du fer blanc terne sont :

Le creuset à étamer,
Le creuset à tremper,
Le creuset à repasser.

La température du premier creuset doit être aussi élevée que possible, comme pour l'étamage brillant; elle n'est limitée que par la facilité avec laquelle la graisse prend feu quand elle est fortement chauffée. L'étamage brillant est une opération déjà assez pénible pour l'ouvrier, à cause de la vapeur de la graisse qui se mêle avec celle de l'eau au moment où il plonge les feuilles dans

Digitized by Google

le bain ; l'étamage terne en est une beaucoup plus pénible encore. Du reste, quand la graisse prend feu, on l'éteint rapidement en l'arrosant d'eau fraîche.

Les feuilles sont introduites dans le creuset à étamer terne de la même manière que dans le creuset à étamer brillant, puis retirées de la même manière et plongées par groupe de vingt-cinq à trente à la fois dans le creuset à tremper.

Le trempeur, comme le brosseur, en prend une douzaine à la tenaille, en commençant par les plus anciennes, les pose sur une tablette en bois située au-dessus du bain et les retrempe une à une dans son creuset, qui est divisé en deux compartiments, l'un pour maintenir chaudes les feuilles étamées, l'autre pour tremper. Les feuilles trempées sont ensuite déposées dans un peigne hors du creuset et remises, quand elles sont froides, au *creuset à repasser*.

La température du creuset à repasser doit être telle, que l'étamage des feuilles qui en sortent ne soit ni trop gras ni trop maigre. Le repassage se fait de la manière suivante :

Au-dessus du creuset est un treuil auquel est suspendu un peigne ayant toute la largeur du creuset et pouvant contenir vingt-cinq à trente feuilles. Quand le peigne est rempli de feuilles, que l'on a soin d'y emprisonner pour qu'elles ne remontent pas, la densité de l'alliage du bain étant plus grande que celle du fer, l'ouvrier descend lentement le peigne dans le bain à l'aide de son treuil; la couverte des feuilles, en pénétrant dans le bain, se liquéfie petit à petit et abandonne à la surface une assez forte proportion d'oxyde de plomb; si la descente se faisait trop vite, cet oxyde pénétrerait dans le bain et le gâterait. Quand les feuilles sont intégralement plongées, l'ouvrier enlève tout cet oxyde à l'aide d'un râteau, et, afin qu'il ne s'en reforme pas d'autres, il jette une petite cuillerée de graisse neuve. Au bout de quelques secondes, il remonte le peigne avec une vitesse qui dépend entièrement de la température du bain et du degré de gras qu'il faut laisser à l'étamage. Plus le relevage est prompt, plus l'étamage est gras, et, réciproquement, plus il est lent, plus l'étamage est maigre.

Une brigade d'étamerie terne fait, comme au brillant, environ vingt caisses IC par douze heures. L'encaissage se fait de la même manière; seulement, pour distinguer le terne du brillant, on remplace le B par un T. Ainsi l'IC en brillant se désignant par ICB, en terne se désigne par ICT.

---

## CHAPITRE III.

### DE LA PRÉPARATION DES TOLES PLOMBÉES.

Les tôles plombées se divisent en

Tôles 24ᵉ et analogues;
Ternes longs.

Les tôles 24ᵉ et analogues sont toutes tôles qui se font au laminoir de 40ᵉ et ont au plus 0ᵐ.77 de large sur 2ᵐ.80 de long.

Les ternes longs sont des tôles fines qui se fabriquent comme la tôle à tuyaux, et ont 9 et 12ᵉ sur 36 ou 48ᵉ.

Comme nous l'avons déjà dit (page 311), les 9ᵉ ne se fabriquent exprès que sur commandes spéciales; généralement elles proviennent des 12ᵉ, dont les bords ont été détériorés soit au laminage, soit au rognage, soit surtout au recuit, par suite d'accident à la boîte à recuire.

Tous les ternes longs qui ont été rebutés soit comme 12ᵉ, soit comme 9ᵉ, sont découpés en

Digitized by Google

petits ternes, et, s'ils ont déjà été plombés, sont simplement *repassés* à l'étamerie terne. Il résulte de cette manière d'opérer que, quand la fabrication des ternes longs est suffisamment développée, il n'y a plus, en fait de petits ternes, que des feuilles repassées.

La préparation des tôles plombées 24* se fait dans de grands creusets en fonte qui ont de 0m.30 à 0m.35 de large, 1 mètre à 1m.25 de profondeur et une longueur qui varie, suivant la longueur des tôles à plomber, entre 2 mètres et 3 mètres. Il est même indispensable, quand on fait toutes les longueurs, d'avoir au moins deux dimensions de creusets, c'est-à-dire une série de creusets de 2 mètres et une autre de creusets de 3 mètres de long.

Quand le travail ne marche pas fort, le même creuset peut servir pour le plombage et le repassage; mais alors il faut après le plombage, qui se fait à haute température, laisser refroidir le bain pour le repassage, qui se fait à basse température.

La graisse, avons-nous dit (page 381), est remplacée par le *beurre de zinc*, que l'on prépare en mêlant ensemble

Une bombonne d'acide hydrochlorique à 21°, pesant 72 kilog.,
Zinc. . . . . 26 kilog.

Le chlorure de zinc ayant pour formule :

| | |
|---|---|
| Zn. . . . . | 412.50 |
| Cl. . . . . | 443.20 |
| | 855.70 |

il faut théoriquement, pour saturer 26 kilog. de zinc,

$$412.50 : 443.26 :: 26 : x = 28 \text{ kilog. de chlore.}$$

100 kilog. d'acide hydrochlorique contiennent (Berzélius) :

| | |
|---|---|
| Cl | 97.76 |
| H | 2.24 |
| | 100.00 |

il faut donc, pour saturer 26 kilog. de zinc,

$$97.76 : 100 :: 28 : x = 28^{k}.7 \text{ acide hydrochlorique.}$$

Or, comme il faut 72 kilog. du même acide dissous à 21°, nous en concluons que 100 kilog. d'acide à 21° contiennent seulement

$$72 : 28.7 :: 100 : x = 40 \text{ kilog. d'acide pur.}$$

D'après Berzélius, la dissolution d'acide contenant 40 pour 100 d'acide pur a une densité de 1.21. L'acide à 21° doit donc avoir cette densité.

Nous donnons ces chiffres comme renseignement, parce que nous savons qu'ils seront utiles; on n'a pas toujours dans les usines tout ce qui est nécessaire à la vérification des marchandises qu'on reçoit.

Quand le bain de plomb a été préparé comme nous l'avons indiqué (page 380), on le recouvre de chlorure dont l'eau s'évapore assez vite et qu'il faut renouveler de temps en temps avec un arrosoir.

Deux hommes prennent une feuille préalablement décapée et conservée sous l'eau et la plongent dans le bain affectant une température susceptible de faire prendre feu au papier qu'on y

Digitized by Google

introduit; la feuille, plongée et retirée deux ou trois fois, est ensuite remontée ni trop vite ni trop lentement, mais aussi régulièrement que possible, et plongée dans l'eau fraîche, puis retirée immédiatement, essuyée et empilée avec celles qui doivent être repassées.

Le repassage se fait à une température qui varie, suivant le gras que l'on veut donner aux feuilles, entre le papier devenant jaune orangé et le papier devenant jaune foncé. On plonge les feuilles une à une comme précédemment; seulement, pour les retirer, il faut avoir soin de procéder aussi régulièrement que possible, si on veut qu'elles n'aient pas de marques provenant d'épaisseurs variables dans les couches de plomb déposé; de plus, il faut que la vitesse du tirage soit la même pour toutes les feuilles d'une même commande, afin que toutes aient la même charge en plomb. 1 mètre carré de tôle plombée de 0m.001 d'épaisseur contient généralement 0k.70 de plomb par mètre carré, soit 0k.35 sur chaque face.

Comme nous l'avons dit (page 381), quand le bain est bien préparé, il n'est plus nécessaire d'ajouter de l'étain; on ajoute indéfiniment du plomb, par lingots de 20 kilogr. au plus à la fois, ce qui prouve que le seul obstacle qui s'oppose à l'alliage direct du fer et du plomb est non pas l'incompatibilité des métaux l'un pour l'autre, mais uniquement le sous-oxyde de plomb ou l'oxygène en dissolution dans ce métal.

Une brigade de plombage fait de 150 à 200 feuilles de tôle plombée par 12 heures, soit environ 200 mètres carrés.

Or nous avons dit qu'à l'étamerie, *brillant* ou *terne*, on fait 20 caisses I C, soit $20 \times 20 = 400$ mètres carrés.

Ce simple rapprochement suffit pour démontrer que, si l'on remplaçait l'étamage terne par le plombage, on économiserait l'étain, il est vrai, mais on augmenterait la main-d'œuvre.

Cependant, étant démontré que l'étain n'est pas indispensable pour le plombage, il était nécessaire d'aviser pour supprimer l'emploi de ce métal dans la fabrication du fer blanc terne. C'est alors qu'on a imaginé la fabrication du terne long, qui permet, au moyen de peignes et de deux creusets, d'opérer presque aussi rapidement que par l'ancienne méthode.

Pour cela, au lieu de plonger les feuilles une à une dans le bain de plomb comme précédemment, on les plonge par 25 à la fois, préalablement encastrées dans un peigne; le repassage se fait ensuite d'une manière analogue à celui du petit terne, c'est-à-dire au moyen d'un peigne à *treuil*.

Comme précédemment, les feuilles sont, au sortir de chaque bain, immédiatement plongées dans l'eau, et essuyées, c'est-à-dire nettoyées à la *sciure* de bois, au *son* et au chiffon.

Les consommations pour la préparation des tôles plombées sont, en moyenne, les suivantes, savoir :

| | Par 1,000 kilogr. de tôle. | Par 100 mètres carrés de tôle. |
|---|---|---|
| Acide sulfurique à 60°. . . . . | 68k.74 | 36k.00 |
| Acide hydrochlorique à 21°. . . . . | 13k.58 | 7k.11 |
| Zinc. . . . . | 5k.00 | 2k.63 |
| Plomb affiné. . . . . | 135k.09 | 70k.74 |
| Étain. . . . . | 7k.84 | 4k.10 |

Sur 123 feuilles de tôles à plomber, il y en a 23 rebutées, savoir :

7 plombées;
16 noires.

FIN.

Digitized by Google

# LÉGENDE EXPLICATIVE DES PLANCHES.

## 1° FONTE.

### PLANCHE I. — *Préparation du minerai.*

Fig. 1, 2, 3, 4. — Fourneau d'essai des minerais, en élévation et coupes dans différents sens.
Fig. 5, 6. — Bocards et patouillets.
Fig. 7. — Bacs de lavage.

### PLANCHE II. — *Grillage du minerai.*

Fig. 8, 9. — Four de grillage de la Voulte, en élévation et coupes.
Fig. 10, 11. — Appareils de grillage des minerais par les chaleurs perdues des hauts fourneaux.

### PLANCHE III. — *Carbonisation du bois; lavage de la houille.*

Fig. 12, 13, 14, 15, 16. — Carbonisation en meules.
Fig. 17. — Procédé de carbonisation du bois, par M. *Brune*.
Fig. 18. — Procédé de carbonisation du bois employé à la poudrière d'Essonne.
Fig. 19, 20, 21. — Fabrication du charbon roux, en forêts; procédé *Échement*.
Fig. 22, 23, 24, 25. — Fabrication du charbon roux, en forêts; système des *Ardennes*.
Fig. 26, 27, 28. — Bac à piston pour le lavage de la houille.

### PLANCHE IV. — *Lavage de la houille.*

Fig. 29, 30. — Lavoir à eau courante.
Fig. 31, 32. — Appareil Bérard.

### PLANCHE V. — *Carbonisation de la houille.*

Fig. 33, 34. — Carbonisation à air libre, méthode de la *Grand-Combe*.
Fig. 35, 36, 37. — Fours de carbonisation du bassin de la Loire.
Fig. 38, 39. — Fours de carbonisation, système de M. *Maurice*.
Fig. 40, 41. — Coupes, en plan et transversale, des fours à coke de *Commentry*.



Digitized by Google

PLANCHE VI. — *Carbonisation de la houille.*

Fig. 42, 43. — Coupes, en plan et longitudinale, des fours à coke de *Commentry*.
Fig. 44, 45, 46. — Fours à coke, système *Appolt*.
Fig. 47, 48, 49. — Détails des portes de déchargement desdits fours.

PLANCHE VII. — *Carbonisation de la houille.*

Fig. 50, 51. — Plan d'ensemble et élévation des appareils de carbonisation, par le procédé *Knab*.
Fig. 52. — Détail d'un siphon destiné à l'écoulement du goudron.

PLANCHE VIII. — *Carbonisation de la houille.*

Fig. 53, 54. — Détails des fours de carbonisation de M. *Knab*.
Fig. 55, 56, 57. — Détail des cloches d'aspiration des gaz et du condensateur à goudron, système *Knab*.
Fig. 58. — Régulateur de l'aspiration du gaz, système *Knab*.

PLANCHE IX. — *Soufflerie*s.

Fig. 59. — Trompe.
Fig. 60, 61, 62. — Ventilateur ordinaire en élévation, coupe transversale et plan.
Fig. 63. — Détail des ailettes de dito.

PLANCHE X. — *Soufflerie*s.

Fig. 64, 65, 66, 67, 68, 69. — Ventilateur à haute pression, système *E. Bourdon*, en élévation, plan et coupes transversales.

PLANCHE XI. — *Soufflerie*s.

Fig. 70, 71. — Ventilateur, système *Mazeline*
Fig. 72. — Machine soufflante à piston et clapets.

PLANCHE XII. — *Soufflerie*s.

Fig. 73, 74. — Ensemble de machine soufflante à piston et clapets, munie de deux cylindres soufflants.

PLANCHE XIII. — *Soufflerie*s.

Fig. 75, 76, 77, 78. — Élévation, plan et coupes transversales d'une soufflerie horizontale, système *Thomas* et *Laurens*, à piston et à tiroirs, marchant à grande vitesse.

PLANCHE XIV. — *Régulateurs et chauffage de l'air.*

Fig. 79, 80. — Régulateur à eau.

Digitized by Google

Fig. 81, 82. — Régulateur à piston.
Fig. 83. — Régulateur à capacité constante.
Fig. 84, 85, 86. — Appareil à chauffer l'air, système *Calder*.

## PLANCHE XV. — *Chauffage de l'air.*

Fig. 87, 88, 89, 90, 91. — Appareil à chauffer l'air, système *Thomas* et *Laurens*.
Fig. 92, 93. — Détail d'un tube à chauffer l'air.
Fig. 94, 95. — Détail des saillies venues à la fonte dans l'intérieur des tubes, pour augmenter la surface de chauffe.

## PLANCHE XVI. — *Hauts fourneaux.*

Fig. 96, 97. — Haut fourneau au charbon de bois.
Fig. 98, 99. — Haut fourneau au coke.

## PLANCHE XVII. — *Profils de hauts fourneaux.*

Fig. 100, 101, 102. — Hauts fourneaux au charbon de bois.
Fig. 103. — Haut fourneau au charbon de bois et au coke.
Fig. 104, 105, 106, 107. — Hauts fourneaux au coke.

## PLANCHE XVIII. — *Hauts fourneaux.*

Fig. 108, 109. — Plans d'ensemble d'une usine de deux hauts fourneaux au coke, par *C. E. Jullien*.
Fig. 110, 111, 112. — Détail du haut fourneau et des chaudières chauffées à flamme perdue des gueulards.
Fig. 113. — Détail du râteau de défournement des fours à coke.
Fig. 114. — Détail d'un four à coke.
Fig. 115. — Groupe de fours à coke disposés en cirque.
Fig. 116. — Détail des portes en fonte, garnies de terre, des fours à coke.
Fig. 117. — Détail des crics pour soulèvement desdites portes.
Fig. 118. — Détail du manége, mû par un cheval, servant au défournement à l'aide du râteau (fig. 113).
Fig. 119, 120. — Courbure horizontale des parois extérieures des hauts fourneaux, système *Communeau*.

## PLANCHE XIX. — *Utilisation des gaz du gueulard.*

Fig. 121, 122, 123, 124. — Prise de gaz au gueulard d'un haut fourneau au charbon de bois, système *Thomas* et *Laurens*.
Fig. 125, 126. — Prise de gaz au gueulard d'un haut fourneau au coke, système *Thomas* et *Laurens*.

Digitized by Google

PLANCHE XX. — *Utilisation des gaz du gueulard.*

FIG. 127, 128, 129. — Ensemble de trois chaudières à vapeur chauffées à flamme perdue des gueulards, système *Thomas* et *Laurens*.
FIG. 130, 131, 132. — Détails de dito.

PLANCHE XXI. — *Monte-charges.*

FIG. 133, 134, 135, 136, 137. — Détails d'un monte-charge hydraulique, système *Thomas* et *Laurens*.

## 2° FER.

PLANCHE XXII. — *Transformation directe du minerai en fer.*

FIG. 1, 2, 3. — Creuset *Catalan*.
FIG. 4, 5. — Marteau à bascule pour cingler et étirer le fer.

PLANCHE XXIII. — *Affinage de la fonte.*

FIG. 6, 7, 8, 9, 10, 11. — Détails d'un feu d'affinerie au charbon de bois, dit feu *Comtois*.

PLANCHE XXIV. — *Affinage de la fonte.*

FIG. 12, 12 *bis* et 12 *ter*. — Feu d'affinerie simple, chauffant une chaudière à vapeur, à chaleur perdue, par *C. E. Jullien*.
FIG. 13, 13 *bis* et 13 *ter*. — Ensemble de deux feux d'affinerie accouplés dans deux chaudières à vapeur, par *C. E. Jullien*.

PLANCHE XXV. — *Affinage de la fonte.*

FIG. 14, 15. — Four à réverbère à fondre la fonte de fer.
FIG. 16, 16 *bis*. — Four à puddler sur sole en sable.
FIG. 17, 18. — Feu de *mazerie*.

PLANCHE XXVI. — *Affinage de la fonte.*

FIG. 19, 20. — Four à puddler, dit four bouillant, à une porte de travail.

*Détails.*

*a*, armature du four dite plaque de fond.
*b*, armature du four du côté de la porte de travail.

Digitized by Google

*c*, plaque de sole en quatre parties.
*d*, courant d'air.
*e*, *id.*
*f*, seuil de la porte de travail.
*g*, cadre de la porte de travail.
*h*, *h*, *h*, détails du courant d'air.

## PLANCHE XXVII. — *Affinage de la fonte.*

Four à puddler, dit four bouillant, à deux portes de travail, et cassin pour échauffer les charges.
FIG. 21. — Élévation longitudinale du côté des portes de chargement.
FIG. 21 *bis*. — Élévation longitudinale du côté de la petite porte de travail.
FIG. 22, 22 *bis*, 22 *ter*, 22 *quater*. — Coupes transversales dans la *cuve*, le *cassin*, le *foyer* et le grand *autel*.
FIG. 23. — Coupe longitudinale.
FIG. 24, 24 *bis*. — Coupes horizontales au-dessus et au-dessous de la *sole*.

## PLANCHE XXVIII. — *Appareils de cinglage.*

FIG. 25, 26, 27. — Cingleur rotatif.
FIG. 28. — Train de cylindres ébaucheurs.
FIG. 29, 30. — Presse.

## PLANCHE XXVIII *bis*. — *Appareils de cinglage.*

FIG. 31, 32. — Marteau frontal.
FIG. 33, 34, 35, 36, 37. — Marteau-pilon

## PLANCHE XXIX. — *Fabrication du fer en barres.*

FIG. 38, 39, 40. — Cisaille à couper le fer.
FIG. 41, 42. — Appareil pour confectionner les lopins.
FIG. 43, 44, 45. — Four à réchauffer le fer.

## PLANCHE XXX. — *Fabrication du fer en barres.*

FIG. 46. — Tracé des cannelures pour un ébaucheur à cannelures ogives.
FIG. 47. — Tracé des cannelures pour un ébaucheur à bandages de chemins de fer.
FIG. 48 à 62. — Profils de cornières.

## PLANCHE XXXI. — *Fabrication du fer en barres.*

FIG. 63 à 77. — Profils de cornières.

Digitized by Google

PLANCHE XXXII. — *Fabrication du fer en barres.*

Fig. 78 à 91. — Profils de fers à vitrage.
Fig. 92 à 102. — Profils de fers en T.

PLANCHE XXXIII. — *Fabrication du fer en barres*

Fig. 103 à 115. — Profils de fer en double T.

PLANCHE XXXIV. — *Fabrication du fer en barres.*

Fig. 116, 117. — Train de gros mill.
Fig. 118. — Train de petit mill.

PLANCHE XXXV. — *Fabrication du fer en barres.*

Fig. 119, 120, 121. — Train de fenderie.
Fig. 122. — Profil de couverture creuse.
Fig. 123, 124, 125, 126. — Exemple de fabrication d'une barre de fer à double T, dit fer à planchers.
Fig. 127. — Série de trèfles neufs et réparés.

PLANCHE XXXVI. — *Fabrication de la tôle*

Fig. 128, 129. — Four à rallonger la tôle, dit *à réverbère.*
Fig. 130, 131, 132, 133. — Four à rallonger la tôle, dit *dormant.*
Fig. 134, 135. — Plaque à dresser les grosses tôles, à grande épaisseur et à trous.
Fig. 136, 137, 138. — Plaque à dresser les grosses tôles, à faible épaisseur et à nervures.

PLANCHE XXXVII. — *Fabrication de la tôle.*

Fig. 139, 140, 141, 142. — Paire de cages montées pour train laminoir à grosse tôle ayant 1m.625 de longueur de table.
Fig. 143, 144, 145, 146. — Paire de cages montées pour train de laminoir à fer en barres.

PLANCHE XXXVIII. — *Fabrication de la tôle.*

Fig. 147, 148. — Boîte à recuire les tôles en vase clos.
Fig. 149, 150. — Four à recuire les tôles en vase clos.
Fig. 151 à 160. — Étirage du fer blanc appelé *clinquant.*

PLANCHE XXXIX. — *Utilisation de la chaleur perdue des fours à réverbère au chauffage des chaudières à vapeur.*

Fig. 161 à 164. — Chaudière horizontale placée au-dessus des fours.

Digitized by Google

PLANCHE XL. — *Utilisation de la chaleur perdue des fours à réverbère au chauffage des chaudières à vapeur.*

Fig. 165, 166. — Chaudière verticale chauffée par la flamme perdue d'un seul four.
Fig. 167, 168. — Chaudière verticale chauffée par les flammes perdues de deux fours.

PLANCHE XLI. — *Forges à fer.*

Fig. 169, 170, 171. — Machine à vapeur horizontale, à détente et condensation, de 60 chevaux, pour train de laminoir à fer en barres.

PLANCHE XLII. — *Forges à fer.*

Fig. 172, 173, 174. — Pompe à eau froide pour usines, système *Warrall*, *Middleton* et *Elwell*.

PLANCHE XLIII. — *Forges à fer.*

Fig. 175 à 181. — Pompe alimentaire dite *petit cheval*, à double effet, système *E. Bourdon*.

PLANCHE XLIV. — *Forges à fer.*

Fig. 182 à 185. — Pompe alimentaire dite *petit cheval*, à simple effet, système *E. Bourdon*.
Fig. 186. — Injecteur *Giffard*.

## 3° ACIER.

PLANCHE XLV. — *Cémentation du fer.*

Fig. 1 à 13. — Détails de construction d'un four à cémenter.

PLANCHE XLVI. — *Fusion de l'acier.*

Fig. 14 à 22. — Détails de la fabrication des creusets.
Fig. 23. — Four de fusion de l'acier au coke.

PLANCHE XLVII. — *Fusion de l'acier.*

Fig. 24, 25. — Fonderie d'acier par la flamme de la houille, à vent forcé et à tirage par aspiration, par *C. E. Jullien*.

PLANCHE XLVIII. — *Fusion de l'acier.*

Fig. 26. — Détail d'un four à réverbère pour fondre l'acier à la flamme de la houille, avec vent forcé et tirage par aspiration, système *Bouché*.
Fig. 27, 28. — Four à fondre l'acier à la flamme de la houille, à vent forcé seulement, système *Ballefin*.

Digitized by Google

## PLANCHE XLIX.

Fig. 29. — Disposition de gaine pouvant recevoir les flammes de plusieurs fours sans que ces dernières se contrarient, par *C. E. Jullien*.
Fig. 30. — Entonnoir pour charger les creusets.
Fig. 31, 32. — Tenaille d'arracheur.
Fig. 33, 34. — Tenaille de fondeur pour couler.
Fig. 35, 36, 37. — Profils d'acier corroyé.
Fig. 38, 39. — Modes d'assemblage des marteaux-pilons avec leur tige.
Fig. 40, 41. — Peigne pour le dérochage des tôles fines (fer blanc).
Fig. 42. — Four à épurer et essayer les lingots d'*étain* (*id.*).

## PLANCHE L.

Fig. 43, 44, 45. — Martinet-pilon à cames, système *Decoster*.
Fig. 46, 47, 48. — Martinet-pilon à cames, système *Schmerber*.

## PLANCHE LI.

Fig. 49 à 53. — Martinet-pilon à cames, système *Farcot*.

FIN DE LA LÉGENDE EXPLICATIVE DES PLANCHES.

Digitized by Google

# TABLE DES MATIÈRES.


AVANT-PROPOS. . . . . v
INTRODUCTION. . . . . 1

I. — *De la métallurgie du fer considérée comme science.* . . . . . 1

LIVRE PREMIER.

Des phénomènes physiques et chimiques ayant rapport à la métallurgie du fer. . . . . 2

CHAPITRE PREMIER. — De l'état physique, dit solide, des corps. . . . . 2
§ 1er. Des variétés de l'état solide des corps. . . . . 3
§ 2. De l'influence du mode de refroidissement sur le mode de solidification des corps liquides. . 3

CHAPITRE II. — Des états chimiques des corps. . . . . 5
De la trempe du bronze. . . . . 12
De la trempe du verre. . . . . 12

LIVRE II.

Du fer pur, de ses dissolutions et de ses combinaisons. . . . . 15

CHAPITRE PREMIER. — Des composés binaires que forment entre eux le fer et le carbone. . . . . 16
§ 1er. Trempe de l'acier. . . . . 18
Recuit. . . . . 19
§ 2. Trempe de la fonte. . . . . 20
Du recuit de la fonte. . . . . 22

CHAPITRE II. — Des composés binaires que forment entre eux le fer et l'oxygène. . . . . 26
§ 1er. Des fers brûlés. . . . . 26
§ 2. Des oxydes de fer. . . . . 32




Digitized by Google

CHAPITRE III. — Des composés binaires que forment entre eux le carbone et l'oxygène..... 34
Du chauffage..... 39
1° Du chauffage direct par combustible sec..... 40
2° Du chauffage direct par combustible cru..... 41
3° Du chauffage par la flamme des combustibles secs..... 41
4° Du chauffage par la flamme des combustibles crus..... 43
5° Du chauffage mixte..... 44
CHAPITRE IV. — Des trois corps, fer, carbone et oxygène, mis en présence à haute température..... 45
CHAPITRE V. — Des fers, fontes et aciers du commerce..... 48
§ 1er. De l'influence des métalloïdes, silicium, soufre et phosphore, sur la qualité des fers, fontes et aciers du commerce..... 48
§ 2. Des fers alliés de cuivre, arsenic, étain et argent..... 54

LIVRE III.

Des divers procédés de fabrication du fer, de l'acier et de la fonte..... 55
Premier problème. — Étant donné de l'oxyde de fer, le convertir en fer..... 58
Deuxième problème. — Étant donné de l'oxyde de fer, le convertir en acier..... 62
Troisième problème. — Étant donné de l'oxyde de fer, le convertir en fonte..... 63
Quatrième problème. — Étant donné du fer, le convertir en acier..... 67
Cinquième problème. — Étant donné du fer, le convertir en fonte..... 69
Sixième problème. — Étant donné de l'acier, le convertir en fer..... 69
Septième problème. — Étant donnée de la fonte, la convertir en fer..... 70
1° Du feu d'affinerie..... 70
2° Du four à puddler..... 71
Huitième et dernier problème. — Étant donnée de la fonte, la convertir en acier..... 73

II. — *De la métallurgie du fer considérée comme art et comme industrie.* ..... 76

PREMIÈRE PARTIE.

De la génération de la fonte..... 79

TITRE PREMIER.

Des matières premières..... 79
CHAPITRE PREMIER. — Des minerais de fer..... 80
§ 1er. Du fer oxydulé..... 81
§ 2. Du fer oligiste..... 81
§ 3. Du fer oxydé rouge..... 82
§ 4. Du fer oxydé hydraté..... 82
§ 5. Des fers carbonatés..... 83
CHAPITRE II. — Des fondants..... 83
CHAPITRE III. — Du combustible..... 86

Digitized by Google

CHAPITRE IV. — Du vent forcé..... 84
§ 1er. De la quantité du vent..... 88
1° De la quantité du vent nécessaire quand le combustible est le carbone en nature..... 88
2° De la quantité du vent nécessaire quand le combustible est tout autre que le carbone en nature..... 93
§ 2. De la pression du vent..... 96
§ 3. De la température du vent..... 96

## TITRE II.

De la préparation des minerais..... 98
CHAPITRE PREMIER. — De l'essai des minerais..... 99
Des fourneaux d'essai..... 101
Du laboratoire..... 101
1° Balances et poids..... 101
2° Réactifs..... 102
3° Fourneaux..... 102
4° Instruments, ustensiles, accessoires divers..... 103
5° Mobilier..... 105
6° Ouvrages..... 105
CHAPITRE II. — De la préparation mécanique des minerais de fer..... 106
1° Triage..... 106
Débourbage..... 106
2° Cassage..... 107
Du bocardage..... 107
De l'auge..... 107
Des pilons..... 108
De l'arbre à cames..... 108
Des cames..... 109
3° Du lavage..... 109
CHAPITRE III. — Du grillage..... 110

## TITRE III.

De la préparation des combustibles..... 112
§ 1er. Carbonisation du bois..... 112
Fabrication du charbon roux en forêt (*Procédé de M. Echement*)..... 113
Densité de plusieurs espèces de charbons..... 115
Composition et pouvoir calorifiques de quelques charbons..... 116
Charbons de Picardie transportés par terre, et pris sur les marchés de Paris et de Choisy..... 116
§ 2. Carbonisation de la houille..... 116
Du lavage de la houille..... 116
De la carbonisation..... 122
Rendement..... 127

## TITRE IV.

Du soufflage..... 131
CHAPITRE PREMIER. — Des appareils à vent continu..... 134

Digitized by Google

CHAPITRE II. — Des appareils à vent intermittent..... 139
Régulateurs..... 142

TITRE V.

Du chauffage de l'air..... 143

TITRE VI.

Du haut fourneau..... 145
CHAPITRE PREMIER. — Des formes et dimensions intérieures des hauts fourneaux..... 145
CHAPITRE II. — De la construction du haut fourneau..... 154
Organisation du travail pour la construction de l'usine..... 155
Disposition d'une usine de deux hauts fourneaux au coke donnant 15,000 kilog. de fonte en vingt-quatre heures..... 162
Monte-charges..... 166

## DEUXIÈME PARTIE.

De la fabrication du fer..... 168

### Section première.

Du corroyage en général..... 169
CHAPITRE PREMIER. — De l'affinage..... 169
CHAPITRE II. — Du soudage..... 171
Du chauffage..... 171
Du serrage..... 17
CHAPITRE III. — De l'étirage..... 175
De l'étirage au marteau..... 176
De l'étirage au laminoir..... 178
Des effets comparés du marteau et du laminoir sur le fer..... 179

### Section II.

De la génération du fer brut..... 180

TITRE PREMIER.

Matières premières..... 182
CHAPITRE PREMIER. — Oxydes de fer..... 182
CHAPITRE II. — Fontes..... 183
§ 1er. Des fontes neuves..... 184
Des fontes de la 1re classe..... 184

Digitized by Google

Des fontes de la 2e classe..... 185
Des fontes de la 3e classe..... 185
§ 2. Des vieilles fontes..... 185
Chapitre III. — Ferrailles..... 186
§ 1er. Des ferrailles et riblons propres au lopinage..... 186
§ 2. Des ferrailles impropres au lopinage..... 189

TITRE II.

Affinage..... 190
Chapitre premier. — Du traitement du minerai de fer dans le foyer catalan..... 190
Travail des forges catalanes..... 192
Chapitre II. — Du traitement de la fonte au feu soufflé..... 193
Chapitre III. — Du traitement de la fonte au four de réverbère..... 198
Travail du puddlage..... 201
Des oxydes métalliques employés à la décarburation..... 206
Des divers modes de décarburation dans le four à puddler..... 208
Chapitre IV. — Du traitement de la ferraille au feu soufflé..... 210
Chapitre V. — Du traitement de la ferraille au four à réverbère ; soudage en vrac..... 212

TITRE III.

Du soudage..... 214
§ 1er. Cingleur rotatif..... 214
§ 2. Cylindres ébaucheurs..... 215
§ 3. Presse..... 215
§ 4. Marteaux..... 216
Résumé..... 216

TITRE IV.

De l'étirage..... 217

TITRE V.

Classement des fers bruts..... 224
Du nerf..... 225
Du grain..... 225
Nomenclature et classification des fers bruts..... 228

**Section III.**

De la fabrication du fer fini..... 230

TITRE PREMIER.

Des préparations..... 231

Digitized by Google

CHAPITRE PREMIER. — De la préparation des blettes ..... 232
§ 1er. Des paquets ..... 233
§ 2. Des lopins ..... 235

## TITRE II.

De la fabrication du fer en barres dit fer marchand ..... 237

CHAPITRE PREMIER. — Du chauffage des pièces en vue de la fabrication du fer en barres ..... 243

CHAPITRE II. — Du laminage des pièces en vue de la fabrication du fer en barres ..... 251
§ 1er. De l'ébauchage ..... 251
§ 2. Du finissage ..... 261
§ 3. Du montage des laminoirs à fer en barres ..... 279
§ 4. Des fers de fondere ..... 280
§ 5. Exemples ..... 281

## TITRE III.

De la fabrication de la tôle de fer ..... 290

CHAPITRE PREMIER. — De la fabrication de la grosse tôle ..... 291
§ 1er. Des préparations pour grosses tôles ..... 292
§ 2. Du finissage des grosses tôles ..... 293
§ 3. Renseignements généraux ..... 295

CHAPITRE II. — De la fabrication de la tôle moyenne ..... 299
Du recuit ..... 304

CHAPITRE III. — De la fabrication de la tôle fine ..... 307
§ 1er. De la fabrication de la tôle à tuyaux ..... 309
§ 2. De la fabrication du fer noir pour fer blanc ..... 310

## TITRE IV.

Des services accessoires de la fabrication du fer ..... 315

CHAPITRE PREMIER. — Du chauffage ..... 315
§ 1er. De l'approvisionnement en combustible ..... 316
§ 2. Du tirage ..... 317
§ 3. De l'utilisation des chaleurs perdues ..... 318

CHAPITRE II. — De l'éclairage ..... 320

CHAPITRE III. — Des moteurs ..... 320

CHAPITRE IV. — De l'alimentation ..... 321

CHAPITRE V. — Du graissage ..... 322

CHAPITRE VI. — De l'entretien des fours ..... 322

CHAPITRE VII. — De l'entretien du matériel ..... 323

CHAPITRE VIII. — Des magasins ..... 323
Compositions diverses de pièces de rechange ..... 324

Digitized by Google

## TROISIÈME PARTIE.

De la fabrication de l'acier. . . . . 328

### LIVRE PREMIER.

De la génération de l'acier. . . . . 331

CHAPITRE PREMIER. — De la cémentation du fer solide dans le charbon de bois. . . . . 331

Travail des caisses à cémenter. . . . . 335

CHAPITRE II. — De la fusion du mélange : fer et charbon de bois, dans un creuset. . . . . 337

CHAPITRE III. — De la méthode rivoise. . . . . 338

### LIVRE II.

Des préparations. . . . . 339

#### TITRE PREMIER.

De la fusion de l'acier. . . . . 339

CHAPITRE PREMIER. — Des creusets. . . . . 340

CHAPITRE II. — De la fusion de l'acier au coke. . . . . 343

CHAPITRE III. — De la fusion de l'acier à la flamme de la houille. . . . . 345

CHAPITRE IV. — Des opérations de la fonderie indépendantes du procédé de fusion. . . . . 348

§ 1er. Du choisissage ou classage des aciers cémentés. . . . . 349

§ 2. Du cassage. . . . . 349

§ 3. De la composition des charges. . . . . 350

§ 4. De la confection des charges. . . . . 351

§ 5. De la recuite des creusets. . . . . 352

§ 6. Du chargement de l'acier. . . . . 353

§ 7. Du chauffage. . . . . 354

§ 8. De la coulée. . . . . 355

§ 9. Du burinage. . . . . 357

§ 10. Résumé comparatif des fusions au coke et à la houille. . . . . 357

1° Frais de fusion au coke à deux creusets. . . . . 358

2° Frais de fusion au coke à quatre creusets. . . . . 358

3° Frais de fusion à la houille à neuf creusets. . . . . 358

De la préparation des *tubes* ou *rondelles* creuses par l'application de la force centrifuge à la coulée de l'acier fondu. . . . . 359

#### TITRE II.

Du corroyage de l'acier. . . . . 360

Digitized by Google

## LIVRE III.

De la fabrication de l'acier fin. . . . . 363

CHAPITRE PREMIER. — De la fabrication de l'acier en barres. . . . . 363

§ 1er. De l'étirage au marteau . . . . . 364

§ 2. De l'étirage au laminoir . . . . . 365

CHAPITRE II. — De la fabrication de la tôle d'acier . . . . . 365

## QUATRIÈME PARTIE.

De la préparation du fer blanc. . . . . 368

### TITRE PREMIER.

De la préparation du fer noir destiné à la fabrication du fer blanc. . . . . 368

CHAPITRE PREMIER. — De la préparation du fer noir pour fer blanc brillant . . . . . 369

§ 1er. Du rognage . . . . . 370

§ 2. Du dérochage . . . . . 370

§ 3. Du laminage à froid . . . . . 371

§ 4. Du recuit en vase clos . . . . . 372

§ 5. Du récurage . . . . . 372

CHAPITRE II. — De la préparation du fer noir pour fer blanc terne . . . . . 374

### TITRE II.

De la préparation proprement dite du fer blanc. . . . . 374

CHAPITRE PREMIER. — De la préparation du fer blanc brillant . . . . . 374

1° Du creuset à graisse de l'étameur . . . . . 376

2° Du creuset à étamer . . . . . 377

4° Du creuset à rafraîchir . . . . . 377

3° Du creuset à tremper dans l'étain . . . . . 378

5° Du creuset à tremper dans la graisse . . . . . 378

6° Du creuset à lisières . . . . . 379

Du nettoyage du fer blanc brillant . . . . . 379

Du triage . . . . . 379

CHAPITRE II. — De la préparation du fer blanc terne . . . . . 380

CHAPITRE III. — De la préparation des tôles plombées . . . . . 382

Légende explicative des planches. . . . . 385

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

PARIS — IMPRIMERIE DE MADAME VEUVE BOUCHARD-HUZARD, RUE DE L'ÉPERON, 5. — 1861.

5694783

Digitized by Google

Digitized by Google